

À MEMÓRIA DE
LUIZ MARIA DA FONSECA JOR.

Adq. pelo
"Fundo Gorschach"

Instituto Superior de Psicologia Aplicada
BIBLIOTECA

"When Magellan sailed along the American shore with the intention of finding a western passage, he had no inductive evidence that there was one; but his enterprise was justified because it was a means to reach his aim if the aim was attainable".

H. Reichenbach

L 998

Prefácio

I

No nosso trabalho tivemos como objectivo, por um lado o esclarecimento de alguns problemas ligados ao processamento de Informação no S.N. e, por outro, a procura de uma fundamentação e de uma formalização mais rigorosas, para as teorias Psicológicas e Psiquiátricas.

Tomámos como ponto de partida os problemas básicos que nos surgiram na experiência clínica Psiquiátrica.

Em primeiro lugar usámos as novas técnicas microfisiológicas para o estudo directo da actividade do S.N. Investigámos do ponto de vista experimental os mecanismos de convergência multisensorial, nomeadamente de aferências visuais, acústicas e vestibulares, no Cortex Cerebral e no Núcleo Geniculado Externo, usando métodos microfisiológicos. Esses estudos e os resultados obtidos são expostos no Capítulo IV.

Os capítulos sobre os dados electrofisiológicos referentes ao processamento da Informação Visual, aos mecanismos dos Reflexos Condicionados, às bases Neurofisiológicas da Vigilância e da Atenção, embora não correspondam a uma revisão exaustiva desses problemas, enquadram os nossos trabalhos no conjunto das investigações electrofisiológicas, que constituem um dos ramos das Ciências do Sistema Nervoso em mais rápido progresso.

Esses dados servem ao mesmo tempo de base para a parte seguinte do nosso trabalho, em que, após discutirmos o método dos Modelos, expomos os resultados que obtivemos na construção dos Modelos Cibernéticos dos processos psicológicos.

Também aí apresentamos contribuições pessoais em relação aos Reflexos Condicionados, Motivação, Instinto, Percepção Visual, Processos Cognitivos, Memória e Linguagem.

Tomando como ponto de partida as nossas motivações Neurofisiológicas e Psicofisiológicas, fomos por vezes forçados a abordar temas mais gerais, referentes ao processamento de Informação em Redes Neurais (Canal Booleano sem Ruído, Canal Booleano com Ruído), à Evolução no Tempo das Funções de Decisão, à aplicação da Teoria dos Corpos de Galois ao estudo do comportamento de Redes não lineares com Reaferentação (Feedback), à Teoria das Redes Assíncronas, e ao uso dos métodos Pseudo-Booleanos na construção de Modelos Neurais.

Além das contribuições nos domínios já mencionados, fizemos ainda uma tentativa de interpretação desse ponto de vista, de alguns problemas Psiquiátricos. Essa parte do trabalho é já uma aplicação à clínica dos métodos e resultados obtidos na investigação tanto experimental como teórica.

No seu conjunto, e apesar de numerosas omissões, estas investigações constituem uma tentativa mais sistemática de estudo dos problemas psicológicos do ponto de vista da Teoria das Redes Neurais, dentro do domínio da Cibernética, de que temos conhecimento.

O trabalho está assim dividido em duas partes: uma em que revemos algumas contribuições neurofisiológicas para o estudo de problemas psicológicos e apresentamos a nossa contribuição pessoal, que corresponde a resultados obtidos experimentalmente, através do uso de métodos microfisiológicos; outra em que fazemos a interpretação cibernética dos mecanismos neuronais de que dependem os processos psicológicos e algumas perturbações psiquiátricas. Os mesmos problemas poderiam igualmente ser estudados de um ponto de vista bioquímico. Para que o nosso programa, já muito extenso, fosse possível, excluímos deliberadamente esse ponto de vista.

Procurámos esclarecer experimentalmente alguns problemas neurofisiológicos importantes para a compreensão do processamento de Informação realizado pelo S.N. e, além disso, sermo-nos do método dos modelos para superar numerosas dificuldades na transposição dos resultados neurofisiológicos para o domínio dos processos psicológicos. Tomámos como ponto de partida a Teoria das Redes Nervosas de McCulloch e Pitts, tendo contribuído para o seu aperfeiçoamento e tendo desenvolvido novos métodos para a construção de modelos.

Partindo dos modelos procurámos construir uma teoria unificada para os processos estudados pela Neurofisiologia e pela Psicologia.

O facto de nos termos mantido a esse nível de interpretação teórica, exprime o esforço desenvolvido, não só para obtermos dados experimentais, como ainda para formularmos conceitos que permitissem uma interpretação dos dados psicológicos e psiquiátricos, mais sistemática e mais integrada nas ciências da natureza.

II

Os resultados foram obtidos no decurso de nove anos, na Clínica Psiquiátrica da Faculdade de Medicina de Lisboa, sob a orientação do Prof. H. J. Barahona Fernandes; no Abteilung für Klinische Neurophysiologie der Universität, Freiburg i. Br. sob a direcção do Prof. R. Jung, de Dezembro de 1959 a Agosto de 1961; no Centro de Estudos Egas Moniz, de Outubro de 1961 a Agosto de 1966, no Neurophysiology Group, Research Laboratory of Electronics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, em colaboração com o Dr. Warren S. McCulloch, no Instrumentation Laboratory do MIT, desde Setembro de 1966 a Junho de 1967 e novamente no Centro de Estudos Egas Moniz, de Agosto de 1967 a Junho de 1968.

Esses estudos correspondem à nossa evolução pessoal. Assim, ao estudarmos os problemas levantados pelas enfermidades Psiquiátricas, procurámos ainda antes de concluída a Licenciatura, até Dezembro de 1959, além do treino psiquiátrico que havíamos iniciado anos antes sob a direcção do Prof. Barahona Fernandes, obter também treino neurológico, o que fizemos sob a direcção dos Prof. Almeida Lima e Prof. Miller Guerra.

Durante o período de 1957 a 1959 estudámos Electroencefalografia sob a orientação do Dr. Pompeu Silva, com quem fizemos um estudo clínico e electroencefalográfico da Epilepsia Temporal.

Posteriormente concluímos um curso de Electroencefalografia no Laboratório do Prof. R. Jung e em seguida os nossos interesses de investigação deslocaram-se para a Neurofisiologia e a Psicofisiologia. Daí resultou o trabalho realizado na Alemanha e, em seguida, a montagem no Laboratório de Neurofisiologia do Centro de Estudos Egas Moniz.

O Prof. P. Almeida Lima apoiou com interesse, não só essa iniciativa como ainda os cursos sobre os Cérebros Electrónicos e o Seminário de Teoria de Informação e Modelos Cibernéticos do S.N. que foram organizados no Centro de Estudos Egas Moniz.

A interpretação dos trabalhos experimentais levaram-nos a procurar adquirir treino matemático com o Dr. Gustavo de Castro, Matemático do Laboratório Nacional

de Engenharia Civil.

Em 1965 começámos a obter resultados na investigação cibernética do S.N. e no prosseguimento dessa orientação deslocámo-nos em 1966 a Cambridge, Massachusetts, onde trabalhámos cerca de um ano com o Dr. Warren S. McCulloch, a quem nos ficou a ligar a mais profunda amizade e algumas das melhores recordações como cientista.

Durante todo o período de permanência em Portugal, fizemos a nossa aprendizagem em Psiquiatria sob a orientação do Prof. Barahona Fernandes, a quem devemos não só a orientação, como ainda numerosas ideias e pontos de vista, que foram incluídos neste trabalho, com as modificações que resultaram da adopção de um esquema conceptual diferente em vários aspectos.

Foi igualmente importante a contribuição do Dr. Gustavo de Castro, que num longo e frutuoso contacto, transmitiu alguma da sua experiência e numerosos pontos de vista de que se encontram expressões no nosso trabalho, tanto no que se refere à parte matemática como também à puramente biológica ou psicológica.

Consideramos um privilégio o facto de termos tido a oportunidade de trabalhar e de conviver com estes três mestres.

Todo o nosso trabalho foi apoiado pelo Prof. Almeida Lima, como Director do Centro de Estudos Egas Moniz. Ficámos-lhe a dever numerosas críticas e sugestões.

O Prof. R. Jung teve também profunda influência. Foi com ele que adquirimos a nossa preparação no que concerne aos métodos experimentais microfisiológicos, bem como Electronistagmográficos, e aperfeiçoamento em Electroencefalografia e Neurologia.

Ao Prof. J. Sebastião e Silva, devemos além do apoio que nos prestou, numerosas críticas e sugestões.

Ao Prof. J. L. Massey do MIT, e ao Prof. Tiago de Oliveira, Dr. Egídio Namorado e Dr^a Madalena Quirino, são devidos agradecimentos por sugestões, e a crítica de uma versão anterior deste trabalho.

No Laboratório de Neurofisiologia do Centro de Estudos Egas Moniz fomos auxiliados pelos então estudantes - Maria Teresa Gil, António R. Damásio, José Barata, Hanna Brüdt Costa Damásio, pelo estudante Fernando Pego e pelo Dr. Pedro Bernardo Gonçalves. Só o apoio e entusiasmo deste grupo tornaram possível realizar um trabalho tão longo e tão complexo, apesar das precárias condições de que dispusemos. As suas críticas foram, para além disso, um poderoso estímulo.

O desenho e montagem das ilustrações, bem como a revisão do texto, foi feita por esse grupo.

III

As investigações pessoais cujos resultados são descritos neste trabalho, foram subsidiadas pela Fundação Calouste Gulbenkian, através do seu Serviço de Ciência, desde Janeiro de 1962 a Dezembro de 1966 e a partir de Janeiro de 1968. Mencionamos em especial, o apoio prestado pelo Dr. J. Ribeiro dos Santos, director desse serviço.

O Plano Intercalar de Fomento para 1966, 1967 e o III Plano de Fomento para 1968, contribuíram também para subsidiar a realização deste trabalho.

As investigações foram feitas no Abteilung für Klinische Neurophysiologie der Universität, Freiburg i. Br., como Bolseiro do Instituto de Alta Cultura e Alexander von Humboldt-Stiftung, no Research Laboratory of Electronics, MIT, Cambridge, Massachusetts, como Bolseiro do Instituto de Alta Cultura, da OTAN, e Consultor do Instrumentation Laboratory do MIT para problemas biológicos, na Clínica Psiquiátrica da Faculdade de Medicina de Lisboa e no Centro de Estudos Egas Moniz, como Bolseiro da Fundação Calouste Gulbenkian.

A edição deste trabalho foi em parte subsidiada pela Fundação Calouste Gulbenkian.

Devemos ainda os nossos agradecimentos às editoriais Springer de Berlim, que nos autorizaram a reprodução de uma figura apresentada pelo Prof. R. Jung no Simpósio de Freiburg sobre o Sistema Visual, mencionado nas referências bibliográficas, e ainda às editoriais P. Hoeber de New York e Elsevier de Amsterdam, que nos permitiram a reprodução de figuras e de alguns dos dados que apresentámos nos artigos de que fomos autores em conjunto com o Prof. H. H. Kornhuber e Prof. Jung.

Lisboa, 17 de Julho de 1968

J. Simões da Fonseca

Clínica Psiquiátrica da Faculdade de Medicina de Lisboa

Centro de Estudos Egas Moniz

Ref. 5361

Instituto Superior de Psicologia Aplicada
BIBLIOTECA

BASES NEURONAIS DA VIDA PSÍQUICA

Faculdade de Medicina de Lisboa

1969

Instituto Superior de Psicologia Aplicada
BIBLIOTECA

1950

Índice

Prefácio I

Índice v

Capítulo I

Percepção Visual

Estudo Neurofisiológico dos Fenómenos da Percepção Visual, 1

Quadro sinóptico de algumas correlações entre fenómenos sensoriais e respostas neuronais, 4/ Contraste simultâneo, 5/ Fenómenos de contraste sucessivo, 6

Análise Neurofisiológica dos Mecanismos de Percepção de Formas, 7

Dados Neurofisiológicos Relativos à Existência de Conexões Préformadas entre os Elementos dos Centros Nervosos de que Depende a Percepção Visual, 10

Estrutura inata ou adquirida?, 11

Percepção da Cor, 13

A teoria de Young-Helmholtz, 13 Teoria de Hering, 14/ Estudos neurofisiológicos da visão da cor, 15/ Experiência de E. Land, 16

Capítulo II

Reflexos Condicionados

Tipos de Reflexo Condicionado, 22

Teorias da Aprendizagem, 23 X

Teorias Fisiológicas dos Reflexos Condicionados, 24

Mecanismos corticais e sub-corticais, 24/ Teoria de Anokhin, 27 /
✓ Reações celulares que podem servir de paradigma para os mecanismos neurofisiológicos do reflexo condicionado clássico, 31/ Reações celulares que podem servir de paradigma para os mecanismos neurofisiológicos do reflexo condicionado instrumental, 32/ Reações neuronais durante o processo de condicionamento, 34/ Variações dos potenciais DC durante o processo de condicionamento, 36/ Estudo das respostas condicionadas obtidas por estimulação elétrica, 37/ Pré-condicionamento sensorio-sensorial, 37/ O conceito de modelo neuronal de Sokolov, 38/ Habituação e extinção, 39

*Capítulo III***Estudo Electrofisiológico dos Mecanismos de Regulação da Vigilância e da Atenção**

Estudos Macrofisiológicos, 41

Estudos Microfisiológicos, 44

Diferenças entre os efeitos corticais da actividade do SRAA e do SDPTC, 44

Atenção, 45

Mecanismos do Sono, 46

Resultados paradoxais, 47

*Capítulo IV***Fenómenos de Convergência Multisensorial**

Introdução, 49

Material e Métodos, 50

Resultados, 51

Respostas dos neurónios do cortex cerebral aos estímulos visuais, acústicos e vestibulares, 51/ Distribuição geral das respostas observadas em neurónios do cortex cerebral, consideradas do ponto de vista topográfico, 52/ Descrição das respostas do ponto de vista da modalidade sensorial, 54/ Respostas aos estímulos visuais, 54/ Respostas aos estímulos acústicos, 56/ Tipos de resposta à polarização do labirinto, 56/ Relação entre o tipo da resposta e a intensidade do estímulo, 59/ Relação entre as respostas dos neurónios do cortex cerebral aos estímulos acústicos, e respostas à estimulação galvânica do labirinto, 121/ Estimulação térmica do labirinto, 63/ Actividades dos neurónios corticais e nistagmo vestibular, 124/ Convergência e interacção de aferências visuais, vestibulares e acústicas em neurónios do cortex cerebral, 65/ Reacções bi-sensoriais de tipo I, 66/ Reacções tri-sensoriais de tipo II, 67/ Convergência não específica, 68

Discussão

*Capítulo V***Modelos Cibernéticos de Processos Psicofisiológicos e Psicológicos**

Introdução, 75

O Método dos Modelos, 78

Tipos de Modelos, 79

Redes de Neurónios Formais, 82

Símbolos usados na Construção dos Modelos, 83

Regras de funcionamento dos elementos, 84/ Teorias dos Autómatos, 89/ Caracterização matemática dos conjuntos definíveis, 90 / Propriedades da classe de conjuntos definíveis, 92

Capítulo VI

Modelos de Reflexos Condicionados (95)

Capítulo VII

Reflexos Condicionados Motivação e Afectos

Representação em Modelo, das Relações entre as Motivações Básicas e os Mecanismos de Condicionamento, 109

Motivações afectivas, 116/ A curiosidade como motivação, 117

— Teorias Fisiológicas da Emoção e dos Processos Afectivos Básicos, 119

Circuito de Papez, 119

Taxias, 124/ Reflexos, 125/ Instinto, 126

Capítulo VIII

Comportamentos Inatos 123

Modelos de Comportamentos Inatos, 128

Programa, 132

Capítulo IX

Os Modelos Neurais Considerados
Como Sistemas Quase Isolados 139

Capítulo X

Medida da Quantidade de Informação
Processada Em Redes Neurais

Canal Booleano sem Ruído, 143

Canal Booleano com Ruído, 146

Capítulo XI

Modificação das Funções de Decisão 153

*Capítulo XII***Mecanismos de Comando e Controle** 159

Teoria das Redes com Laços Fechados, 160

Linearização das Redes não Lineares, 166

Aplicação da Teoria das Redes Lineares aos Shift-Registos com Reaferentação (Feed-back) Linearizados, e com Operações Definidas em CG (Corpos de Galois), 168

*Capítulo XIII***Memória** 171

Fidelidade na Reprodução de Eventos Finitos Incluídos numa Sucessão que se Estende até um Passado Arbitrariamente Remoto, 176

Modelos dos Processos de Memória no S.N. Construídos com Base nestes Resultados, 177

*Capítulo XIV***Modificação das Convenções** 181

Teoria das Redes Assíncronas, 187

Funções, Equações e Desigualdades Pseudo-Booleanas, 189

Neurónios Formais, 190

O Algoritmo de J. Y. Lettvin, 194

O Neurónio Considerado como um Conjunto de Operadores, 195

Redes Neurais que Realizam a Auto-Correlação e a Correlação Cruzada, 199

*Capítulo XV***Percepção** 201*Capítulo XVI***Modelos da Percepção Visual** 207

Percepção e aprendizagem, 216/ Percepção e atenção, 216

*Capítulo XVII***Processos Cognitivos**

Aprendizagem, Processos Cognitivos e Pensamento, 219

Resultados da Investigação Psicológica, 221

A evolução ulterior, 225/ Períodos pré-conceptual e intuitivo, 226/
 Evolução das actividades lúdicas, 227/ Período das operações concretas, 229/
 Construção do conceito de espaço, 230/ Construção do conceito de tempo, 231/
 Período das operações formais, 232

Problemas Levantados pela Representação dos Afectos em Modelo, 233

✓ Dados Neurofisiológicos, 236

Alguns Problemas Básicos Ligados à Construção de Modelos de Processos Cognitivos, 239

Referência, 241/ Significação e Intenção, 243/ O problema da representação em modelo da consciência reflexiva, 214

Reinterpretação dos Modelos Anteriores com Base em um Modelo dos Processos Cognitivos, 247

Descrição do Modelo dos Processos Cognitivos, 250

Capítulo XVIII

Linguagem 255

Definição do Conceito de Signo, 256

Relações entre Signos e Designados, 257

Linguagem e Formação de Conceitos, 260

Estudo Evolutivo da Formação de Conceitos, 263

Linguagem e Operações Intelectuais, 264

Relações entre a Linguagem e os Actos Voluntários, 266

O Processo de Detecção e Identificação das Mensagens Verbais: Modelos Probabilísticos da Linguagem, 268

Gramáticas Geradoras – Descartes e a Escola de Port-Royal, 271

Caracterização da Linguagem e Teoria Algébrica da Linguagem segundo Noam Chomsky, 273

Estrutura da componente fonológica, 275/ Estrutura da Componente Sintáctica, 277

A Hierarquia das Gramáticas, 279

Modelo de Reconhecimento, Interpretação e Produção de Expressões Linguísticas, 282

Capítulo XIX

Personalidade 287

O Conceito de Integração em Conjuntos Organizados, 291

A Estrutura e a Dinâmica da Personalidade segundo G. Allport, 291

Característica, 291/ Personalidade, carácter e temperamento, 292
O proprium, 292

Modelo Estratificado da Personalidade, 293

Capítulo XX

Tentativa de Estudos de Alguns Problemas Psiquiátricos do Ponto de Vista dos Modelos 295

Significação Psicológica, 300

Síndromes Clínicas da Epilepsia, 301

Síndromes Clínicas das Psicoses Orgânicas, 303

Síndromes Clínicas da Depressão, 304

Síndromes Clínicas da Mania, 306

Síndromes Clínicas da Esquizofrenia, 306

Síndromes Clínicas das Perturbações Neuróticas, 311

Resumo e Conclusões 315

Bibliografia 321

Capítulo I

Percepção Visual

ESTUDOS NEUROFISIOLÓGICOS DOS FENÓMENOS DA PERCEPÇÃO VISUAL

O ponto de vista dualista adoptado por Descartes nos seus trabalhos filosóficos, legitimou a liberdade que muitos investigadores tomaram, de começarem a estudar o SN de um ponto de vista mecanicista.

Johannes Müller deu um outro passo decisivo, ao formular sob a forma de dez proposições, uma nova hipótese sobre a sensação.

Johannes Müller reconheceu que (1) a sensação é um estado de consciência correspondente a um estado de funcionamento do SN; (2) a cada modalidade sensorial pertencem receptores específicos - o que deu lugar à teoria das energias específicas que viria a ter grande aceitação durante todo o Séc. XIX, devido principalmente à influência de Helmholtz; (3) estímulos de diferentes tipos, produziam, ao actuar um mesmo receptor, sensações que pertenciam à modalidade sensorial definida por esse receptor; (4) no que concerne os mecanismos neurológicos subjacentes ao fenómeno subjectivo, Johannes Müller propôs as duas hipóteses que ainda hoje permanecem como as mais adequadas - (a) a qualidade sensorial de uma dada sensação, poderia ser devida às características peculiares do funcionamento dos centros nervosos específicos para essa sensação ou (b) os centros nervosos seriam comuns a todas as modalidades sensoriais e a qualidade específica de cada sensação, dependeria, dito em termos actuais, das características das mensagens nervosas a ela ligadas, e não de uma diferença de estrutura dos centros nervosos.

Igualmente importantes para a psicologia, são os estudos realizados na mesma época por Thomas Young e que referiremos em relação com o problema da percepção da cor.

Em meados do Séc. XIX, pouco tempo depois da formulação das proposições de Johannes Müller⁵⁰³ sobre as bases anatómicas e fisiológicas da sensação, inicia-se uma linha de investigação que se ocupa do estudo do modo como o mundo físico é percebido.

O progresso da física criara em alguns investigadores, a convicção de que seria útil procurar estabelecer uma relação entre os dados de introspecção e as características físicas dos estímulos.

Weber⁶⁵³ (1834), Fechner¹⁵⁶ (1851), Wundt⁶⁷⁷ (1858), fizeram investigações experimentais em que procuraram encontrar relações entre o tipo e as dimensões físicas dos estímulos externos e os atributos psicológicos das sensações.

Surgiram então escalas de medida que foram mais tarde aplicadas em todos os sectores da psicologia.

Apesar das controvérsias e críticas a que desde o início deu lugar, a Psicofísica ainda hoje é uma corrente viva, como se demonstra pelo aparecimento de numerosos trabalhos, em que se prossegue o estudo de problemas que pertencem a este domínio. Por outro lado, o projecto de estudo da dimensionalidade sensorial que é característico da Psicofísica, ressurgiu nas teorias do nível de adaptação e do qua-

dro de referência, de Helson.²⁷⁷

A modificação essencial que a situação da Psicofísica veio a sofrer, resultou do reconhecimento de que os métodos e o esquema conceptual usados, apenas eram adequados para um sector limitado dos fenómenos psíquicos. Dentro desse domínio, as teorias e leis psicofísicas permanecem válidas, e os resultados obtidos têm numerosas aplicações, das quais as mais recentes estão relacionadas com a nova disciplina designada de "engenharia psicológica".⁴⁹⁹

Embora os investigadores da Psicofísica do Séc. XIX não se tenham servido em geral, por falta de meios técnicos, da observação directa dos fenómenos fisiológicos, as teorias da sensação foram expostas muitas vezes em termos fisiológicos, e os estudos psicofísicos levantaram problemas que ainda hoje estão a ser resolvidos através da investigação neurofisiológica.

É interessante notar que, de maneira análoga ao que se passou em relação aos processos sensoriais, no estudo dos reflexos condicionados e da motivação, dados quer comportamentais quer subjectivos, foram formulados de uma forma fisiológica, ou serviram para fazer inferências indirectas sobre o modo de funcionamento do S.N.

A crítica mais válida em relação à Psicofísica, diz respeito ao facto de esta só ter considerado certos aspectos dos fenómenos psicológicos e daí ter resultado uma imagem muito empobrecida da vida psíquica. Foi por isso necessário desenvolver novas formulações que progressivamente reintroduziram aquilo que fora excluído.

Como reverso desta crítica, deve ter-se presente que, do ponto de vista histórico, a Psicofísica representa um enriquecimento da imagem científica do mundo. Os investigadores a quem se deve o início desta nova disciplina, tinham presente que para realizar o seu programa de estudo científico da natureza, a física havia sido forçada a simplificar, e a seleccionar sistematicamente o seu domínio de aplicação.⁶¹⁸

Na Física, a redução voluntária de dados, com empobrecimento em comparação com a riqueza qualitativa da experiência sensorial quotidiana, visava a eliminar tudo o que não fosse acessível ao seu método de estudo.

A Psicofísica representou uma tentativa para estudar certos aspectos da vida psíquica de um ponto de vista científico, usando para isso um novo tipo de experimentação.

Nas experiências típicas da Psicofísica do Séc. XIX, de Weber, Fechner, Wundt, Helmholtz,²⁷⁶ foram investigados sistematicamente os atributos da sensação. Fazia-se variar uma única dimensão física dos estímulos e procurava-se estabelecer uma relação com os dados obtidos por introspecção.

Acreditava-se então na existência de uma relação bi-unívoca entre dimensões físicas e sensoriais.

Um dos notáveis resultados obtidos foi a demonstração, feita por Weber, de que a correspondência entre a intensidade de um estímulo como grandeza física e a intensidade do fenómeno subjectivo não era linear, mas logarítmica. Note-se que Stevens⁶⁰⁹ demonstrou que numa situação experimental, a descrição dessa correspondência seria expressa por uma função exponencial, o que invalida a lei de Weber-Fechner. A lei de Weber-Fechner não se verifica em relação aos fenómenos de certas modalidades sensoriais, por exemplo em relação à sensibilidade gustativa, e em geral para todos os tipos de estímulos, quando a sua intensidade é relativamente pequena.

As relações entre estímulos e fenómenos subjectivos, estabelecidas pela Psicofísica, sugeriam uma simplicidade e elementaridade dos fenómenos sensoriais, que os distinguiria da complexidade da percepção.

A sensação seria o elemento mais simples, irreductível, da experiência, que corresponderia à estimulação dos receptores periféricos por uma única dimensão de um estímulo físico. A percepção seria um fenómeno mais complexo.

Esta convicção de simplicidade não corresponde no entanto aos factos.

Por exemplo, a experiência sensorial de uma cor pura, depende não só do comprimento da onda do estímulo, mas também da sua intensidade - se tivermos uma gama de cores e reduzirmos uniformemente as intensidades em todas elas, há diversos desvios de cor, quer dizer, a certas delas passa a corresponder uma sensação de cor diferente - fenómeno do Bezold-Brücke. Um fenómeno análogo se passa em relação à experiência sensorial da altura de um som, tendo-se demonstrado que do pon-

to de vista subjectivo essa altura depende da frequência e também da amplitude da vibração.

A consequência da demonstração da existência de situações deste tipo, é que deixou em muitos casos de ser possível determinar as dimensões da sensação pelo método de variação dos parâmetros físicos.

Com o aparecimento das modernas técnicas de registo usadas em electrofisiologia, que vieram acrescentar um elo que faltava na psicofísica - a descrição dos processos fisiológicos, ao nível dos receptores e dos neurónios do S.N. - desenvolveu-se um notável programa de investigação destes problemas.

Foi então possível entender, de um ponto de vista psicofísico, o processamento de informação que se vai realizando desde os receptores até às zonas de projecção cortical, aos centros de associação, às zonas motoras e por outro lado, as decisões tomadas a partir desta informação e de que resultam os actos motores ou as respostas do sistema nervoso vegetativo.

Quer dizer, em estudos ainda relativamente recentes, encontraram-se reacções neuronais, a vários níveis do S.N.³⁵⁰ ou dos órgãos receptores,²¹⁷ cujas características explicavam certos aspectos dos fenómenos subjectivos.

Os teóricos da Psicofísica procuraram, como já dissemos, estabelecer relações entre as dimensões físicas dos estímulos e as características quantitativas e qualitativas do percepto.

Dessa investigação resultou a descrição correcta de elevado número de fenómenos e a sua quantificação. Este vastíssimo conjunto de dados tem sido recentemente objecto de estudos psicofisiológicos.

A partir da introdução das técnicas de microeléctrodos investigaram-se, a um nível neuronal, numerosas reacções que dependem da informação transmitida pelos órgãos sensoriais. Esses fenómenos neuronais tinham elevado grau de correlação com os dados subjectivos.

Enroth demonstrou, ao nível dos neurónios da retina, que a frequência da descarga neuronal era proporcional à intensidade do estímulo luminoso.

Baumgartner e Frangos¹⁸² verificaram a existência de uma relação logarítmica entre a intensidade de um estímulo luminoso e a intensidade da resposta neuronal definida pelo número de descargas durante os primeiros 500 milissegundos que se seguem ao início da estimulação: $N_{Imp} = K \log Int$, para estímulos com intensidade compreendida entre I_1^2 e I_1^4 .

Entre o limiar e I_1^2 ou acima de I_1^4 a lei não é válida.

Estes resultados são concordantes com os de De Valois⁶³⁹ em neurónios "on" do Núcleo Geniculado Externo, e com os dados psicofísicos de Könnig³⁷⁹ e os fotoquímicos de Hecht.²⁷⁴

Recentemente, Mountcastle⁴⁹⁸ encontrou respostas neuronais a estímulos dos mecanoreceptores da pele, em que a frequência da resposta era consistentemente proporcional a uma potência de intensidade do estímulo, confirmando que a lei de Stevens é válida não só do ponto de vista subjectivo, como também ao nível neuronal.

Para o fenómeno de Frequência de Fusão Crítica de Flicker, que se define no homem como a frequência, acima da qual um estímulo luminoso que é intermitente, passa a ser percebido como se fosse contínuo, verificou-se que à frequência da repetição do estímulo a que corresponde o fenómeno subjectivo, também as respostas neuronais, nas situações experimentais, deixam de ocorrer regularmente a cada estímulo. A descarga neuronal passa então a fazer-se de uma maneira aparentemente sem relação com cada estímulo.

Enroth mostrou que a lei de Porter, de acordo com a qual a frequência a que ocorre o fenómeno do F F C F aumenta segundo uma função logarítmica, quando a intensidade aumenta de maneira linear, se verificava também ao nível das reacções neuronais.

O efeito Brücke - Bartley que consiste no facto de, ao fazer-se a estimulação luminosa intermitente, a maior intensidade luminosa, do ponto de vista subjectivo, ocorrer em relação com uma frequência baixa de estimulação, próxima da do ritmo alfa, foi também estudado microfisiologicamente. Os trabalhos de Grüsser e

Creutzfeldt vieram demonstrar que o número de descargas neuronais por estímulo luminoso, é maior para as frequências a que ocorre o fenómeno subjectivo descrito.

Ao "cinzento intrínseco" (Eigengrau), percebido com os olhos fechados, na ausência de estimulação luminosa, corresponde, a um nível neuronal, um equilíbrio dinâmico da actividade de repouso de neurónios "on" e "off".

Jung demonstrou a existência de uma relação entre o aumento ou a diminuição de luminosidade dos estímulos visuais e a frequência de descarga dos neurónios "on", "off" e "on-off" do cortex cerebral, que foi o primeiro a estudar. Deve no entanto notar-se que fenómenos análogos já haviam sido descritos por Hartline^{258,263} nas Ommatideas do Limulus e na Retina da Rã, e por Granit²¹⁷ nas células ganglionares da Retina do Gato.

Quadro Sinóptico de Algumas Correlações entre
Fenómenos Sensoriais e Respostas Neuronais³⁴⁵
(com indicação das zonas em que foram feitos registos)

Cinzento intrínseco	Descarga de repouso, tanto no Sistema on como off (Retina, ²¹⁵ Núcleo Geniculado Externo, Cortex)
Deslocações no Cinzento Intrínseco	Actividade neuronal reverberante (Núcleo Geniculado Externo) ⁶⁴³
Aumento relativo da Intensidade luminosa	Activação dos neurónios on, inibição dos off. (Retina, ³⁶ Núcleo Geniculado Externo ⁶³¹ Cortex). ³⁴⁷
Diminuição relativa da Intensidade luminosa	Activação dos neurónios off, inibição dos neurónios on (Retina, ³⁶ Núcleo Geniculado Externo, ⁶³⁹ Cortex). ^{347,348}
Relação de Weber - Fechner	Aumento logarítmico do número de descargas dos neurónios on quando a intensidade do estímulo aumenta linearmente (Núcleo Geniculado Externo, ⁶³⁹ Cortex). ¹⁸²
Intervalo de Charpentier	Intervalo nas descargas dos neurónios on durante uma resposta a um estímulo luminoso, com descarga dos neurónios do sistema off.
Contraste sucessivo (Post-imagem de curta duração e intervalos de obscuridade)	Activação e inibição de neurónios on e off que alternam de modo periódico. ^{236,237,347}
Contraste simultâneo	Inibição lateral. (Retina, ³⁹⁰ Núcleo Geniculado, Externo, ²⁹⁸ Cortex cerebral) ^{297,299}
Somação reduzida da luminosidade binocular e Paradoxo de Fechner	Predomínio das conexões mono-oculares desde a Retina, ao Núcleo Geniculado Externo ^{240,298} e ao Cortex. ²³⁵
Competição binocular	Inibição de respostas a estímulos mono-oculares por estimulação do outro globo ocular (Núcleo Geniculado Externo, ²⁴⁰ Cortex). ²⁴¹

Frequência de fusão crítica do Flicker	F F C F dos neurónios do Cortex. ²³³
Lei de Porter	A F F C F definida a um nível neuronal aumenta logaritmicamente quando a intensidade dos estímulos luminosos aumenta linearmente. ^{150,151}
F F C F semelhante tanto nos estímulos mono-oculares como nos binoculares	Predomínio de neurónios corticais com uma F F C F que é pouco influenciada por estimulação do outro globo ocular. ^{235,241,298}
Adaptação local	Redução da descarga de neurónios, quer on quer off, quando a estimulação se mantém sem variação, de modo que a descarga se reduz à frequência de repouso (Retina, ³⁶ Núcleo Geniculado Externo, Cortex). ^{342,346}
Sensação de estímulo visual em situações quer de surpresa quer de sobressalto	Activação inespecífica dos neurónios corticais, predominantemente do sistema on. ³⁴⁶
Facilitação ou inibição dos processos visuais devido à atenção	Convergência de impulsos originados na retina e no Sistema Difuso de Projecção Tálamo-Cortical, em neurónios do Cortex. ^{11,116,119}
F F C F mais elevada no estado vigil e de atenção do que num estado de cansaço	Aumento da F F C F dos neurónios do Cortex por meio de estímulos no S D P T C. ¹¹⁷

Contraste Simultâneo

Em 1939, Hartline²⁶⁰ verificou experimentalmente que a reacção constituída por uma descarga de impulsos nervosos, produzida por estimulação de uma única omnatídea do Limulus, era mais intensa do que as descargas que ocorriam em respostas a estímulos que actuavam também sobre as omnatídeas mais próximas. Um fenómeno análogo foi observado por Hartline nos receptores retineanos da rã. Estes trabalhos constituem um importante progresso na investigação do modo de funcionamento dos neurónios do Sistema Visual. Hartline designou este fenómeno de "inibição lateral".

Do ponto de vista microfisiológico, as experiências de Hartline sobre a inibição lateral, vieram dar uma base fisiológica para o fenómeno do contraste simultâneo da Gestalt: - A inibição lateral estaria reduzida na situação de contraste simultâneo, porque, nesse caso, certo número de omnatídeas estaria na zona de obscuridade e, portanto, não estando activas não exerceriam uma acção inibidora sobre os estados de excitação devidos às omnatídeas actuadas pela luz. Esta seria o paradigma fisiológico para o fenómeno subjectivo do contraste simultâneo.

Os resultados de Hartline no Limulus, foram confirmados por Kuffler³⁹⁰ e Baumgartner³⁹ na retina do gato, por De Valois⁶³⁹ no Núcleo Geniculado Externo do macaco, por Baumgartner⁴⁰ e por Hubel e Wiesel^{296,300} no cortex visual primário do gato, por Hubel e Wiesel³⁰³ nas Áreas Visuais II e III do gato.

As experiências de Kuffler, de Hubel e Wiesel e De Valois, foram realizadas com estímulos luminosos punctiformes e permitiram demonstrar que a cada célula ganglionar da retina cujo axónio faz parte do Nervo Óptico, corresponde um Campo Receptivo ao nível da camada dos receptores retineanos, com uma organização que

consiste num centro envolvido por uma zona periférica, antagonistas um em relação ao outro.

Se um estímulo punctiforme actua (1) no centro de um campo receptivo on, a resposta é on, (2) na zona intermédia é on - off e (3) na periferia é off.

O inverso se passa em relação ao neurónio de campo receptivo com centro off.

Baumgartner^{38, 41} utilizou uma situação de contraste, em que o estímulo era constituído por uma das margens rectilíneas de separação entre uma zona de luz e uma das duas zonas contíguas de obscuridade. Verificou que a resposta neuronal era máxima, quando o centro do campo receptivo (de centro on) estava situado na zona de luz e, por outro lado, na vizinhança da margem de separação de uma das zonas de obscuridade. Este efeito seria devido ao facto de uma considerável parte da zona periférica do campo receptivo do neurónio, estar incluída na zona de obscuridade, e por esse motivo, não exercer uma acção inibidora.

Baumgartner observou que a intensidade da resposta se reduzia, à medida que o centro do campo receptivo neuronal ficasse mais próximo da região média da zona iluminada e portanto mais afastado da margem de separação. A resposta era no entanto sempre mais intensa do que no caso de ser usado um estímulo da mesma intensidade mas sem contraste.

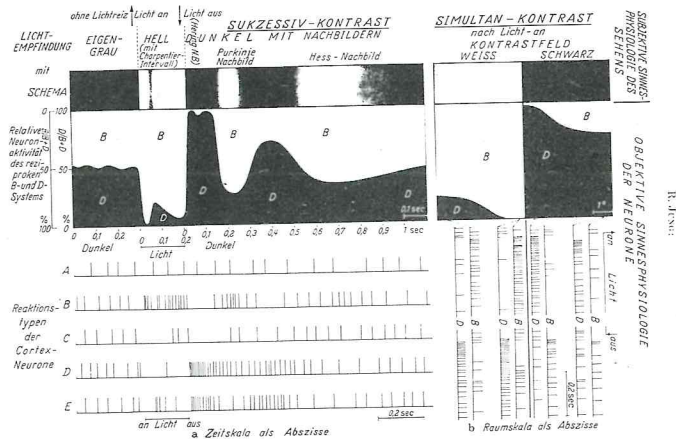
Fenómenos de Contraste Sucessivo

Foram registados na retina e no cortex visual fenómenos neuronais em relação com o contraste sucessivo, para as primeiras post-imagens - (1) post-imagem de Hering, (2) Post-imagem de Purkinje, e ainda (3) a post-imagem tardia de Hess.

Para Jung³⁴⁵, a organização neuronal antagonista entre neurónios on e off traz uma confirmação experimental à teoria de Hering segundo a qual a visão do branco e a do negro são duas percepções positivas.

O negro não seria a não existência de uma percepção luminosa e teria uma significação biológica como categoria independente. Deve notar-se que este ponto de vista não é aceite por outros investigadores que interpretam a resposta à obscuridade, como devida à interrupção da inibição exercida pela zona antagonista do campo receptivo.

Segundo Jung haveria uma correlação entre percepção de negro ou obscuridade e uma activação do Sistema D (off) de neurónios de centro off. A inibição dos neurónios de centro on resultaria da estrutura recíproca dos Sistemas B (on) e D (off).



Hering Nachbild (Hering N.B.) - Post-Imagem de Hering; Purkinje Nachbild - Post-Imagem de Purkinje; Hess Nachbild - Post-Imagem de Hess.

ANÁLISE NEUROFISIOLÓGICA DOS MECANISMOS DE PERCEPÇÃO DE FORMAS

Uma outra linha de investigação dos processos neurofisiológicos da visão veio a iniciar-se alguns anos depois dos trabalhos de Hartline, Kuffler e Jung e é devida principalmente aos trabalhos de Lettvin, Maturana, Pitts e McCulloch.^{404, 405, 455}

Estes investigadores não procuraram encontrar uma correlação imediata entre os processos neurofisiológicos e os dados subjectivos estudados pela Psicofísica. Os resultados que obtiveram demonstram que a retina transforma a imagem que nela se projecta, de tal modo que cada ponto passa a ser "descrito", a nível fisiológico, de acordo com várias "propriedades" cuja definição é feita a partir das relações entre esse ponto e os pontos vizinhos.

O sistema visual da rã foi analisado deste ponto de vista, e a interpretação dos resultados foi significativamente influenciada pelos conceitos e estratégias de análise de sistemas, usadas na engenharia do controle e da comunicação. Por outro lado, os trabalhos experimentais deste grupo haviam sido precedidos pela investigação cibernética de Pitts e McCulloch sobre a percepção de formas e ainda pela interpretação do funcionamento neuronal de um ponto de vista lógico.

Estes factos exprimem uma mudança de atitude em relação às interpretações convencionais dos dados fisiológicos, e que vai também estar presente na descrição que adiante daremos de alguns dos resultados experimentais que consideramos importantes para a compreensão dos fenómenos da percepção visual.

Lettvin, Maturana, Pitts e McCulloch, restringindo-se à percepção de contornos, estudaram quais são as características da imagem visual, transportadas pelas mensagens que se originam nos receptores da retina da rã.

Descreveram quatro operações básicas:

- I - Detecção de limites - neurónios que respondem a qualquer limite desde que ele seja nítido.
- II - Detectores de limites curvos (1) convexos, (2) mais escuros do lado da concavidade, (3) em movimento.
Estes neurónios só respondem a limites nítidos, e ainda (1) só se o limite é curvo, (2) a área mais escura está no interior da concavidade da curva e (3) se o limite se desloca ou deslocou.
- III - Detectores de contraste variável ou com movimento.
Não têm resposta duradoura. Respondem apenas se o contraste é variável ou se a silhueta está em movimento.
- IV - Detectores de obscuridade.
Observaram ainda certo número de reacções não classificadas.

Lettvin, Maturana, Pitts e McCulloch, crêm que a função destes neurónios é analisar a imagem em cada ponto de quatro modos qualitativamente distintos, como expusemos, de maneira que aquilo que se passa em cada ponto seria relacionado com o que se passa nos vizinhos.

Ficaria assim implícita uma solução para a controvérsia entre as teorias Gestálticas e as Teorias associacionistas da visão.

Os resultados de Lettvin, Maturana, Pitts e McCulloch, foram confirmados por Hubel e Wiesel no gato e por Maturana⁴⁵⁴ no pombo.

Há no entanto uma diferença básica entre o trabalho de Lettvin, Maturana, Pitts e McCulloch, e o de Hubel e Wiesel - enquanto o primeiro se dirige para uma análise do problema do ponto de vista do processamento da informação e da correlação entre o processamento sensorial e o comportamento, o segundo não ultrapassa os limites da neurofisiologia.

Hubel e Wiesel confirmaram a existência no cortex visual primário do gato de campos receptivos, geralmente subdivididos em duas regiões mutuamente antagonistas.

A maior parte dos campos receptivos eram constituídos por um centro on ou off, rodeado por uma zona antagonista, muitas vezes assimétrica no sentido de que a estimulação em pontos diferentes dava lugar a respostas desiguais.

Por vezes os campos não eram caracterizados por uma zona central envolvida por outra, mas sim por dois campos contíguos, dispostos lado a lado.

Estes campos receptivos podiam estar orientados na vertical, na horizontal ou obliquamente.

Para que, de um estímulo resultasse a excitação de um neurónio, era necessário não só que o limiar fosse atingido ou excedido, mas ainda que o estímulo tivesse uma certa forma, dimensão e orientação no espaço, apropriadas para a disposição do campo receptivo aferente em relação a esse neurónio.

Hubel e Wiesel prosseguiram a tentativa de investigação do processamento da informação visual no mesmo caminho que Lettvin, Maturana, Pitts e McCulloch, procurando determinar que tipos de "detectores de propriedades" existiam nos centros visuais.

Os dados que obtiveram são extraordinariamente interessantes e permitem compreender os princípios gerais do processamento visual, ainda que uma análise análoga não tenha sido até agora tentada em primatas.

Hubel e Wiesel usaram como animal de investigação o gato.

Verificaram que da Retina para o Núcleo Geniculado Externo e para o Cortex Estriado as células reagiam com o máximo de activação ou o máximo de inibição a estímulos circunscritos, com determinadas dimensões, forma e localização. Ao nível da Retina e do Núcleo Geniculado Externo, as células respondem não só à luminosidade do estímulo recebido numa certa zona, como ainda à luminosidade recebida nas zonas que a rodeiam. Ao nível do Cortex Estriado e das Áreas Associativas surgem respostas muito mais complexas.

No Cortex Visual Primário a maioria das células reagiam de maneira máxima a estímulos visuais constituídos por uma linha branca em fundo negro ou uma linha negra em fundo branco ou uma margem de contraste branco-negro.

Esses estímulos eram tanto mais eficazes quanto mais a linha se aproximasse de um segmento da recta. As dimensões do segmento eram importantes, no sentido de que havia uma dimensão óptima e que para além ou para aquém desse tamanho, a resposta neuronal era menos intensa.

A orientação da linha no espaço era também importante e um desvio angular da ordem dos 30° era suficiente para que certos neurónios deixassem de reagir a um estímulo que era ideal dos outros pontos de vista.

As células que tinham reacções do tipo que acabamos de descrever foram designadas "Simples".

Estas reacções podem ser explicadas pela forma do centro da área receptiva e da periferia antagonista que o rodeia.

Usando uma técnica extremamente cuidadosa, Hubel e Wiesel ^{299,302,303} fizeram penetrações com os microelctrodos, perpendiculares em relação à superfície do cortex. Verificaram, a partir das respostas que obtinham em diferentes células, à medida que o microelctrodo ia progredindo, que as células vizinhas umas das outras ao longo de uma dada coluna vertical do cortex, tinham campos receptivos com a mesma orientação direccional e que as posições desses campos receptivos, eram muito próximas umas das outras.

Pequenas regiões da Retina eram representadas por mais do que uma coluna. Em cada coluna haveria uma orientação preferencial do campo receptivo, comum a todas as células da coluna. Essa orientação diferia de coluna para coluna.

Além destas "células com reacções simples" Hubel e Wiesel observaram células com "reacções complexas" que se caracterizavam por (1) haver uma dimensão mínima para os estímulos em forma de segmento de recta, abaixo da qual não se obtinha qualquer resposta (2) por haver, ao contrário do que se passava com as reacções simples, uma dimensão mínima do estímulo, para a qual a intensidade da activação era máxima, mas que podia ser excedida sem que isso implicasse uma redução da intensidade da resposta (3) para um estímulo de determinada dimensão superior à

mínima e inferior à máxima, a intensidade da resposta era igual, qualquer que fosse a posição em que o estímulo ocorresse, desde que coincidissem com a direcção característica do campo receptivo (4) a intensidade da resposta era proporcional ao comprimento do estímulo dentro dos limites postos por (1) e (2).

A actividade das células com reacções complexas dependerá provavelmente das aferências que recebem das células com reacções simples. Não é no entanto de excluir a possibilidade de que haja células que recebem directamente aferências que são equivalentes às que recebe todo um conjunto de células com reacções simples.

A percepção de rectilinearidade dependeria para Hubel e Wiesel, da actividade de células complexas deste tipo.

Prosseguindo uma longa série de investigações, Hubel e Wiesel estudaram além da Área Visual Primária, duas áreas visuais associativas – a Área Visual II e a Visual III. Nestas últimas duas áreas não observaram respostas simples, mas apenas "respostas complexas" e um terceiro tipo de respostas que designaram "hipercomplexas".

As células com este tipo de reacção constituíam, na Área Visual II, entre 5 a 10% da amostra colhida. Na área Visual III, pelo contrário, constituíam cerca de 50% da amostra.

Hubel e Wiesel distinguiram entre "Reacções Hipercomplexas de ordem inferior" e "Reacções Hipercomplexas de ordem superior".

Descrito de maneira abreviada, umas e outras eram activadas por estímulos com margens de contraste que formassem um ângulo entre si.

Em certas células com reacções hipercomplexas de ordem inferior, uma margem de contraste branco-negro podia produzir uma resposta desde que não ultrapassasse num dos seus extremos uma porção limitada da área receptiva e tivesse a orientação adequada. O que se passava em relação ao outro extremo era irrelevante para a resposta. Se houvesse uma outra margem formando um ângulo adequado com a primeira, então a célula reagia qualquer que fosse a rotação a que o ângulo fosse sujeito tomando o vértice como centro da rotação.

Noutras células a margem de contraste branco-negro tinha que ser limitada em ambos os extremos, para que houvesse resposta.

Noutras células, uma simples margem de contraste branco-negro não produzia resposta. Pelo contrário, um estímulo constituído por uma "fenda" luminosa era eficaz desde que não excedesse as dimensões da área receptiva. Se era limitado apenas num dos extremos era menor a eficácia da sua acção.

Por outro lado, a deslocação do estímulo numa certa direcção e sentido aumentava a intensidade da resposta.

Hubel e Wiesel observaram orientações muito diversas dos campos receptivos das células, não havendo qualquer dado que sugerisse uma maior incidência de células correspondentes a uma orientação particular.

Nas células com reacções hipercomplexas de ordem inferior, podia fazer-se uma distinção básica quanto ao tipo de resposta, entre (1) células em que, para haver resposta, era necessário que o estímulo estivesse limitado num único dos seus extremos e (2) células em que o estímulo tinha que estar limitado em ambos os extremos.

Hubel e Wiesel observaram que as células activadas por estímulos constituídos por linhas brancas em fundo negro, tinham que ser limitadas em ambos os extremos para provocarem uma reacção.

Muitas das reacções hipercomplexas de ordem superior, eram provocadas preferentemente por estímulos orientados em ângulo recto em relação ao outro.

As características das respostas destas células parecia ser determinada pela combinação de respostas hipercomplexas de ordem inferior.

A maior parte das células quer da Área Visual I, quer das Áreas Visuais II e Visual III, eram actuadas por estímulos monoculares homo – e contralaterais ou por estímulos binoculares. Os campos receptivos destas células tinham posições correspondentes em ambas as Retinas. Esses campos receptivos tinham dimensões e orientação análogas, sendo também semelhantes a direcção e velocidade com que de-

veria ocorrer a deslocação do estímulo, no caso de se tratar de uma célula sensível aos estímulos em movimento.

Havia todos os graus intermédios entre células que eram actuadas apenas por estímulos homolaterais, células que respondiam exclusivamente a estímulos contralaterais e células que respondiam de maneira idêntica aos estímulos homolaterais e contralaterais.

A distribuição em percentagem entre os vários tipos de resposta era neste aspecto idêntica na Área Visual I, Visual II e Visual III.

Como já referimos, na Área Visual I a orientação dos campos receptivos correspondentes às células de uma mesma coluna era idêntica em todas elas. Nas Áreas Visual II e Visual III, era também idêntica a orientação dos campos receptivos das células que pertenciam a uma mesma coluna.

No caso das células com reacções hipercomplexas de ordem superior, as respostas ocorriam em relação a estímulos compostos por duas partes com orientação diferente uma da outra. Nesse caso encontravam-se na mesma coluna algumas células que reagiam a uma dessas duas orientações do estímulo e não à outra.

A partir dos registos que obtiveram, Hubel e Wiesel verificaram que havia nas Áreas Visual I, Visual II e Visual III, uma correspondência com a disposição das áreas receptivas da Retina e que essas áreas receptivas constituíam uma sucessão relativamente bem ordenada.

Dentro de uma coluna os campos receptivos estavam dispostos de maneira aparentemente aleatória, embora pertencessem todos a regiões vizinhas e por vezes em parte sobrepostas, e tivessem todos, como já dissemos, aproximadamente a mesma orientação.

Hubel e Wiesel verificaram, a partir do estudo histológico do seu material, que havia uma boa correspondência entre as Áreas Visual I, Visual II e Visual III, definidas a partir de critérios fisiológicos e as áreas 17, 18 e 19 tal como foram delimitadas por Otsuka⁵²⁵ e Hassler do ponto de vista cito-arquitectónico.

As implicações destes resultados para o entendimento do processamento visual são vastas e serão discutidas do ponto de vista de representação em modelo. Neste momento salientamos apenas que os processos descritos por Hubel e Wiesel se baseiam no princípio de inibição lateral, ou do contraste simultâneo, em que estímulos homogêneos não dão origem a respostas neuronais e apenas a informação sobre contornos é transmitida da Retina para os centros nervosos. Não deve esquecer-se porém que cerca de 50% das células em amostras colhidas no Cortex Visual I reagem a estímulos visuais difusos e portanto sem contraste.³⁴⁷

Deve ainda notar-se que o facto de haver células que reagem mais intensamente a estímulos binoculares em zonas correspondentes³⁰⁴ pode servir para a determinação da distância e percepção de profundidade.

Tanto a discussão deste problema como ainda a interpretação dos resultados de Hubel e Wiesel, Maturana, Lettvin, Pitts e McCulloch, de Baumgartner, Grüsser, será feita quando tratarmos dos modelos neuronais dos fenómenos da percepção visual ou de certas estruturas de comportamento. Tornar-se-á então ainda mais clara qual é a contribuição que estes dados experimentais vêm trazer para os estudos da percepção visual.

DADOS NEUROFISIOLÓGICOS RELATIVOS À EXISTÊNCIA DE CONEXÕES PRÉ-FORMADAS ENTRE OS ELEMENTOS DOS CENTROS NERVOSOS DE QUE DEPENDE A PERCEPÇÃO VISUAL

No decurso de estudos destinados a esclarecer se havia uma representação em ambos os hemisférios cerebrais, da região à volta do meridiano vertical mediano, Hubel³⁰⁵ e Wiesel observaram que no limite entre as Áreas 17 e 18 havia uma representação bilateral do meridiano vertical do campo visual. Nessa região do cortex vi-

sual, havia em ambos os hemisférios, células cujos campos receptivos pertenciam não só à metade do campo visual contralateral, como seria de esperar, mas que se estendiam também para a metade homolateral do campo visual.

Aparentemente, estes dados estariam de acordo com as observações clínicas de que poderia haver manutenção da visão macular, mesmo depois da ablação de um dos lobos occipitais.

Choudhury, Witteridge e Wilson¹⁰⁴, mostraram que as respostas visuais no cortex visual, devidas a estímulos localizados no campo visual homolateral, em preparações com secção da fita óptica, desapareciam quando o cortex visual do hemisfério oposto era submetido a arrefecimento.

Estes resultados fisiológicos são concordantes com as experiências de degenerescência retrógrada e mostram que a Área 17 de um dos hemisférios, tem projecções sobre as áreas 18 e 19 do hemisfério oposto. Hubel e Wiesel, empregando o método de impregnação pela prata, de Nauta, chegaram à conclusão que a Área 18 de um dos lados, tem numerosas conexões com a Área 18 do hemisfério oposto, mas que as conexões com a Área 17 do hemisfério oposto, são em número reduzido ou mesmo inexistentes.

Não é no entanto de excluir que além destas conexões trans-calosas, haja já na Fita Óptica e no Núcleo Geniculado Externo, aferências provenientes de zonas receptivas correspondentes ao campo visual homolateral.

Estrutura Inata ou Adquirida ?

Os estudos de Von Senden⁵⁸⁶ e Riesen⁵⁸³ vieram mostrar, com dados subjectivos e comportamentais, a importância da experiência sensorial passada, para que os processos perceptivos actuais, ou os comportamentais relacionados com a visão sejam normais.

Estudos anatómicos de Villaverde, mostraram que em animais privados de estímulos sensoriais visuais desde o nascimento, se observava uma redução do número de sinapses nos neurónios do Cortex Visual Primário.

Dado o extenso conhecimento do modo de organização funcional, quer ao nível da Retina, quer dos centros visuais, torna-se actualmente possível, investigar se essa organização existe desde o nascimento ou se é adquirida.

Os estudos de Wiesel e Hubel, mostram que essa organização efectivamente já existe desde o nascimento, ao nível da Retina, do Núcleo Geniculado Externo e do Cortex Estriado,³⁰¹ e que tem características semelhantes às que se observam no animal adulto.

Os campos receptivos simples e complexos, do Cortex Visual Primário e a organização antagonista dos campos receptivos, ao nível do Nervo Óptico e do Núcleo Geniculado Externo, têm desde o nascimento características análogas às observadas no animal adulto, embora os animais sejam incapazes de utilizar imediatamente a informação visual que recebem a partir do momento em que abrem os olhos, o que ocorre entre o 6º e o 10º dia de vida.

Por outro lado, a privação sensorial monocular obtida por sutura das pálpebras de um dos lados produziu, ao fim de três meses, alterações comprovadas histologicamente, nas camadas do Núcleo Geniculado Externo⁶⁶⁵ correspondentes ao olho excluído.

De maneira um tanto discordante com os achados histológicos, Hubel e Wiesel observaram que as reacções aos estímulos luminosos estavam relativamente intactas, excepto no que se referia a uma lentidão de resposta ou a um aumento da área central do campo receptivo celular.

Quanto à relação entre o período da vida do animal a partir do qual era feita a exclusão sensorial e a extensão das alterações histológicas, Wiesel e Hubel^{666, 667} verificaram que elas eram tanto maiores quanto mais cedo essa exclusão era feita. Não observaram quaisquer lesões no animal adulto submetido a exclusão sensorial.

Ao nível do córtex estriado³⁰¹ foram observadas as respostas típicas do animal

adulto em animais com respectivamente 8 e 10 dias que ainda não tinham tido qualquer experiência visual.

Havia respostas simples e complexas e uma organização em colunas semelhantes à dos animais adultos.

As únicas diferenças significativas encontradas, diziam respeito à maior lentidão das respostas e a uma orientação menos definida dos campos receptivos celulares.

A privação sensorial monocular levava, ao nível do Cortex Visual Primário,⁶⁶⁵ a alterações muito mais nítidas do que as observadas na Retina e no Núcleo Geniculado Externo.

Em 84 das células que estudaram, Hubel e Wiesel verificaram que 83 não respondiam à estimulação recebida através do olho que havia sido submetido a uma exclusão temporária dos estímulos visuais.

Muitas dessas células reagiam no entanto à estimulação do olho em que não houvera interrupção da estimulação visual.

Em algumas células, no entanto, a alteração era mais profunda, não havendo resposta à estimulação quer de um quer de outro olho.

A simples privação sensorial relativa, em que se permitia a passagem de luz através de um sistema translúcido e que apenas produzia uma relativa redução da intensidade luminosa, mas que efectivamente impedia a percepção da estrutura dos estímulos, levava a intensas perturbações nas respostas neuronais.

O conjunto de dados neurofisiológicos, ligados ao processamento dos dados sensoriais, começa a ter uma estrutura tal que é possível procurar entender os processos psicológicos tomando-os como base dos modelos teóricos.

Podê no entanto por-se a objecção de que esses dados foram obtidos em experimentação animal, e que os processos perceptivos no homem são essencialmente diferentes.

Esta objecção deixou de ser pertinente sob muitos aspectos, desde que M. Clynes,¹⁰⁵ M. Kohn e J. Gradijan demonstraram que havia uma correlação elevada entre a forma e a cor dos estímulos visuais e as características dos potenciais evocados registados na região occipital.

Dada a grande distorção e atenuação a que os sinais eléctricos cerebrais são sujeitos, quando se fazem as medições das diferenças de potencial com eléctrodos superficiais em contacto com a pele, foi necessário usar métodos que permitissem a recuperação dos sinais relevantes para essa investigação, eliminando ou reduzindo as modificações a que haviam sido sujeitos.

A técnica baseia-se numa amostragem com mais de cem registos individuais, todos com a mesma relação temporal com o estímulo. Para cada ponto correspondente faz-se então a média dos valores da diferença de potencial em todos os registos. O número de pontos estudados é da ordem de algumas centenas.

Como os sinais têm características temporais aproximadamente constantes nas diferentes respostas, enquanto que o "ruído" tem uma distribuição que se comporta como aleatória no contexto considerado, este processo permite a extracção do sinal, uma vez que este se adiciona enquanto que o "ruído" se anula.

Verifica-se que, quando se colhe um número elevado de registos correspondentes a um certo estímulo, as respostas passam a surgir com características muito semelhantes de observação para observação.

Clynes, Kohn e Gradijan fizeram o registo das diferenças de potencial entre quatro pares de pontos dispostos nos extremos de diâmetros de uma mesma circunferência, de tal modo que faziam entre si, sucessivamente, ângulos de 45°. Registraram assim as respostas que ocorriam quando o sujeito de observação era submetido a estimulação visual.

Verificaram que as diferentes componentes e as relações temporais entre essas componentes, para cada par de pontos de registo, e entre esses quatro registos simultâneos, tinham uma correlação consistente com a forma e a cor do estímulo.

Era possível distinguir entre círculos e quadrados, linhas, pontos, diferentes cores, etc.

Esses dados foram depois armazenados na memória de um computador IBM 360.

De cada registo ficava armazenada uma amostra constituída por uma sucessão de valores medidos a intervalos regulares.

Clynes e colaboradores fizeram a seguinte experiência: os registos obtidos em relação aos estímulos visuais, foram submetidos a uma correlação cruzada com os valores dos registos armazenados no computador. Verificaram então que o resultado da correlação cruzada permitia identificar correctamente, em todos os casos, qual havia sido o estímulo a que o sujeito tinha sido submetido.

As consequências destes resultados são extremamente importantes, porque se torna claro a partir deles, que é possível encontrar no homem um processo neurofisiológico em correspondência com o processo psicológico de reconhecimento de formas.

Note-se ainda que os registos feitos por este grupo de investigadores, tinham relações temporais com o estímulo, tais que se levanta o problema de existirem processos fisiológicos não acompanhados de experiência consciente, o que permite tomar um ponto de vista diferente do convencional, no que concerne à correspondência entre processos neurofisiológicos e psicológicos. Quer dizer, pode ser estudada do ponto de vista fisiológico, não só a experiência perceptiva que ocorre como resultado de um processamento extremamente complexo, como ainda uma longa cadeia de fenómenos que ocorrem a nível não consciente e para os quais não existe uma estrutura conceptual adequada, tanto nas teorias psicológicas baseadas na experiência consciente, como ainda nas que fazem recurso a um conceito de inconsciente.

Por outro lado há provas indirectas de que existe no homem uma organização neuronal análoga à observada por Hubel e Wiesel e por De Valois, por Baumgartner e Jung e por Kuffler em animais de experiência, sendo portanto legítimo fazer a transposição desses resultados.

A partir das experiências de Ditchburn^{132,133} verificou-se que quando era possível estabilizar a posição de um estímulo visual em relação à retina de tal maneira que o flutter ocular era compensado, então, ao fim de alguns milésimos de segundo, começava um processo de adaptação tal que o estímulo deixava de ser percebido.

O desaparecimento do fenómeno perceptivo ocorria de um modo característico. Quando o estímulo era constituído por formas simples, com rectas, ângulos e curvas, a desintegração processava-se de maneira que ficavam mantidos durante certas fases, segmentos da recta ou⁵⁵⁰ ângulos, o que sugere que a imagem era estruturada a partir das relações entre detectores de propriedades análogos aos estudados pelos investigadores que mencionámos.

PERCEPÇÃO DA COR

A Teoria de Young-Helmholtz

As duas teorias da visão da cor mais largamente aceites, são a de Young^{275,680,681} e Helmholtz²⁷⁶ é a de Hering.²⁷⁹

Embora a luz branca seja divisível num espectro de infinitas componentes, dado o número finito de receptores da Retina e o facto de o poder de resolução da Retina não diminuir apreciavelmente, ao fazer-se uma estimulação usando luz monocromática, é pouco provável que sejam numerosas as cores básicas.

Será portanto a partir de um número reduzido de experiências perceptivas para cores básicas, que se constrói a enorme variedade de perceptos de cores que são possíveis.

Young baseou-se nas experiências de Isaac Newton,⁵¹² sobre a possibilidade de produzir o efeito sensorial do branco, por meio de uma mistura de cores pertencen-

tes a diferentes porções do espectro da luz branca, enquanto que numerosas outras porções eram omitidas. Young observou além disso que a sensação de Amarelo era produzida por uma mistura de Vermelho e Verde e a de Azul por uma mistura de Violeta e Verde.

Baseando-se em experiências de misturas de cores, Young postulou a existência de três sensações simples, a de Vermelho, Verde e Violeta. As três combinações binárias seriam o Amarelo, constituído a partir do Verde e do Vermelho, o Azul, a partir do Violeta e do Verde e o Carmezim, a partir do Vermelho e do Violeta. A combinação ternária de Vermelho, Verde e Violeta, produz o Branco.

A mistura das cores básicas em combinações ou em proporções diferentes, reproduz toda a gama da experiência sensorial possível em relação a esse tipo de estímulos.

A teoria de Young foi completada por Helmholtz e, de acordo com a formulação deste último,²⁷⁶ pode ser caracterizada pelo seguinte conjunto de hipóteses:

- (1) Aos olhos correspondem três diferentes conjuntos de fibras nervosas. A estimulação das fibras que pertencem a cada um desses conjuntos, dá lugar respectivamente, à sensação de Vermelho, de Verde e de Violeta.
- (2) À luz homogénea excita estas fibras de acordo com o seu comprimento de onda. As fibras sensíveis ao Vermelho são excitadas pela luz de maior comprimento de onda; as fibras sensíveis ao Violeta pela luz de menor comprimento de onda.

Estas fibras têm a sua maior sensibilidade para a luz de certos comprimentos de onda, mas a luz de qualquer comprimento de onda excita as fibras de cada um dos conjuntos considerados, umas mais, outras menos intensamente.

O ponto crucial da teoria de Young, é que a noção de três cores fundamentais não tem qualquer significação do ponto de vista físico. Desde que uma luz composta seja considerada do ponto de vista físico, as suas propriedades dependem das quantidades de luz de todos os comprimentos de onda que contém. Deve pois entender-se que o passo fundamental dado por Young foi o de reduzir as sensações de cor a três sensações fundamentais. Note-se que esta formulação diz respeito ao fenómeno sensorial e não ao fenómeno físico, considerado independentemente do observador humano.

Helmholtz completou a teoria de Young, servindo-se de experiências de misturas de cores e da observação de indivíduos com perturbações congénitas da visão da cor.

Teoria de Hering

Hering,²⁷⁹ contemporâneo de Helmholtz, apresentou uma teoria diferente, baseada na oposição entre seis sensações fundamentais: Vermelho - Verde, Azul - Amarelo e Branco - Negro. Note-se que a introdução do Branco e Negro como cores opostas, é equivalente a uma primeira introdução de relações entre a cor e a forma, que se veio recentemente a provar serem muito importantes, como veremos em relação às experiências de Land.

Hering admitiu a existência de três pigmentos na retina, cada um deles correspondente a um par de cores. O processo de assimilação de um deles produzia uma cor do par, o processo de dissimilação a outra cor do par.

O pigmento responsável pelas sensações de branco - negro estaria mais extensamente distribuído pela Retina e todos os estímulos luminosos do espectro visível teriam um efeito de dissimilação sobre ele, embora em graus diferentes.

Pelo contrário, em relação aos pigmentos dos pares Azul - Amarelo e Verde - Vermelho, a luz de certos comprimentos de onda, teria efeitos de assimilação e a de outros comprimentos de onda, de dissimilação, e haveria ainda certos comprimentos de onda em que os estímulos não teriam qualquer efeito.

Històricamente, o facto de a teoria de Young-Helmholtz ter sido mais geralmente aceite, deve-se por um lado ao grande prestígio científico de Helmholtz, e por

outro a ser menor do que em relação à teoria de Hering, o número de hipóteses necessárias para a formular.

Estudos Neurofisiológicos da Visão da Cor

As experiências de neurofisiologia vieram modificar a situação. Os problemas da cor têm vindo a ser investigados do ponto de vista experimental, pelo registo directo na Retina ou a diferentes níveis da via visual, desde os estudos de Granit a partir de 1940.

Granit usou a técnica de microelétrodos, fazendo o registo da actividade de células ganglionares da Retina. A sua principal conclusão²¹⁶ foi de que deveriam diferenciar-se duas categorias diferentes de sensação - a de luminosidade e a de cor, que seriam relativamente independentes.

Granit investigou as reacções celulares, quer na situação de adaptação à luz quer à obscuridade.

Observou reacções de dois tipos: (1) respostas correspondentes a uma extensa banda de sensibilidade, com o máximo aproximadamente pelos 560 m μ em células que designou de "dominadores", e (2) respostas correspondentes a uma banda de sensibilidade estreita, em células que designou de "moduladores".

A sensação de cor seria devida, segundo Granit, à informação processada pelos moduladores cujas bandas de sensibilidade se distribuíam de maneira preferencial em três regiões - entre 580 e 600 m μ , entre 520 e 540 m μ e 450 e 470 m μ .

Estes dados foram obtidos na rã, numa cobra (*Tropidonotus*), em cobaias e ratos. Os olhos de alguns destes animais tinham reacções peculiares em cujos detalhes não entraremos.

Referiremos no entanto que as experiências em *Tropidonotus*, sugerem que as células "dominadores" são unidades cujas reacções dependem de um conjunto de "moduladores" organizados de maneira a formarem um conjunto funcional.

A localização das três regiões onde se agrupavam preferencialmente os moduladores, constitui uma demonstração da adequação, em linhas gerais, da teoria de Young, ao nível da retina.

A grande vantagem da formulação de Granit sobre a de Young e Helmholtz, consiste no facto de desaparecerem as dificuldades de explicação levantadas pela independência que existe entre a percepção do Branco e a percepção das cores básicas - Na teoria tricromática a desapareição da sensibilidade para o Vermelho ou o Verde, deveria ter como consequência uma modificação da curva de sensibilidade para o Branco. O facto desta predição não se verificar, tem sido uma das objecções mais fortes contra a teoria de Young e Helmholtz. A teoria de Granit não só explicaria esse facto através da dissociação entre dominadores e moduladores, como seria adequada também em muitos outros aspectos. Assim, por exemplo, no facto de (1) uma cor ser tanto mais "escura" quanto mais estiver afastada do centro da banda da unidade "dominadora", (2) a adaptação a uma cor produzir predominantemente uma redução de luminosidade, como consequências selectivamente ligadas à cor usada, e relativamente restritas, (3) no facto de uma redução de luminosidade dever levar à manutenção dos fenómenos sensoriais em zonas circunscritas de cores diferentes, uma vez que os receptores têm sensibilidades diferentes; em vez disso, observa-se o desaparecimento da percepção de cor, permanecendo apenas a de luminosidade, o que Granit interpreta como dependendo da unidade "dominadora", (4) a redução da área de estímulo levar ao desaparecimento da sensação de cor, (5) a cegueira para as cores poder não ser acompanhada de uma modificação da curva de luminosidade fotópica.

A teoria de Granit, é no entanto, basicamente, não tricromática, mas policromática, porque dentro de cada zona preferencial as bandas das unidades "moduladores" têm diferenças apreciáveis.

A realidade parece ser ainda mais complexa do que poderia inferir-se a partir dos resultados de Granit.

Efectivamente, uma das linhas de investigação do processamento visual, de-

envolveu-se a partir das investigações de Hartline e Kuffler que já mencionámos. As respostas neuronais on e off, são interpretáveis como mensagens organizadas de maneira antagonista, em que os neurónios on transmitem a informação de aumento de luminosidade e os off a de redução de luminosidade. Se o mesmo tipo de reacções se encontrasse em relação aos neurónios que respondem a estímulos do par Azul - Amarelo ou Vermelho - Verde, a teoria de Hering teria que voltar a ser considerada. Isso foi efectivamente o que aconteceu.

Russell, De Valois e colaboradores observaram em neurónios do Núcleo Geniculado Externo, respostas neuronais antagonistas, respectivamente on e off, em relação com pares de estímulos que pertencem, cada um deles, a regiões diferentes e complementares do espectro.

Estes resultados foram confirmados ao nível das células ganglionares da Retina do *Carassus Auratus* por Wolbarsht,⁶⁷⁴ Wagner e Mac Nichol Jr.

Estes investigadores observaram que variando o comprimento de onda do estímulo, células cuja resposta era on para uma certa banda do espectro, a partir de certa variação passavam a dar uma resposta off. Encontraram por exemplo, células com respostas on ao Verde e respostas off ao Vermelho, ou respostas off ao Verde e respostas on ao Vermelho.

Estes resultados mostram que a informação referente à cor, é transmitida aos centros nervosos por células ganglionares da Retina, cuja actividade depende de grupos de receptores sensíveis a zonas diferentes do espectro e organizados de maneira antagonista.

Estes receptores, actuando provavelmente através das células bipolares, exercem uma acção excitatória ou inibitória sobre as células ganglionares da Retina. Além destes dados obtidos num animal com um sistema dicromático, também os dados de De Valois num animal tricromata, vieram a ser confirmados por Hubel e Wiesel.

Este tipo de organização antagonista parece constituir uma prova fisiológica em favor da teoria de Hering.

O problema, no entanto, só poderia ter uma resolução, quanto à possibilidade de os processos ao nível dos receptores serem ou não de tipo tricromático, se se fizer um registo directo nos cones, o que é extremamente difícil.

Tomita conseguiu fazer esse registo na Retina da Carpa, tendo observado respostas com um máximo de amplitude que se distribuem nas regiões do Vermelho, do Verde e do Azul. Estes dados foram confirmados por Marks⁴⁴¹ e Mac Nichol Jr.⁶²⁸ com métodos espectrofotométricos.

Brown⁶⁵⁰ e Wald estudaram os cones de primatas, observando máximos de absorção pelos 450, 525 e 555 m μ .

Os dados actuais sugerem que na via visual existem dois tipos de organização - (1) ao nível dos receptores uma organização tricromática, (2) ao nível das células nervosas, uma organização com três pares de cores oponentes, como na Teoria de Hering.

Experiências de E. Land

E. Land³⁹¹ retomou a experiência de Newton⁵¹² quanto à recombinação de partes do espectro. Para isso seleccionou duas bandas, cada uma num dos extremos da banda do amarelo. Em seguida projectou ambos os feixes luminosos sobre uma mesma área de um écran e obteve, naturalmente, uma cor amarela. Em seguida usou ambos esses feixes luminosos, fazendo-os passar, cada um deles, através de um diapositivo, em branco e negro, representando vários objectos. Os diapositivos não tinham senão gradações de branco e negro e apenas diferiam por certas zonas serem mais negras enquanto que outras eram mais claras num dos diapositivos e não no outro.

Ao projectar ambas as imagens, sobrepondo-as num écran, e fazendo com que a luz de maior comprimento de onda passasse através do diapositivo feita com um filtro para o maior comprimento de onda, e a luz de menor comprimento de onda passasse através do diapositivo feito com um filtro para o menor comprimento de

onda, a imagem não surgiu com a cor amarela. Em vez de a combinação, tal como na experiência anterior, dar lugar ao aparecimento de amarelo, o que se observou foi uma imagem em que se via um grupo de objectos, cujas cores embora fossem pálidas e não saturadas, eram distintamente vermelho, cinzento, amarelo, alaranjado, verde, azul, negro, castanho e branco.

Quer dizer, os raios luminosos não determinam directamente a cor que se percepção. Os olhos recebem essa informação e os centros nervosos atribuem aos objectos cores que do ponto de vista de uma análise "espectroscópica", efectivamente não estão presentes.

Esta experiência e outras que descreveremos em seguida, estão em contra-dição com todas as teorias clássicas da cor.

O facto de investigadores como Newton, Helmholtz e Hering terem proposto teorias que são completamente inadequadas, mesmo para explicar um fenómeno tão simples como o descrito por Land, explica-se por os seus estudos da cor terem sido dirigidos para o esclarecimento de sensações simples.

Pelo contrário, na experiência de Land é usada uma imagem por assim dizer "natural", isto é, com a complexidade habitual da nossa experiência perceptiva. Nessa situação mais complexa, as teorias clássicas deixam de ser válidas.

Land repetiu sistematicamente a experiência, usando pares de diapositivos em branco e negro, obtidos através de filtros que correspondiam a comprimentos de onda diferentes.

O segundo resultado surpreendente foi que, ao projectar esses pares de diapositivos sobrepostos num écran, usando para a projecção do diapositivo obtido com o filtro de menor comprimento de onda, um filtro também de menor comprimento de onda do que o filtro usado para a projecção do diapositivo obtido com um filtro de maior comprimento de onda, obtinha de novo todas as cores, qualquer que fosse o par de cores correspondentes aos dois feixes luminosos usados na projecção, desde que os comprimentos de onda fossem suficientemente diferentes.

Além disso, se um dos diapositivos era projectado com uma luz branca e sem filtro algum, e se o outro era projectado através de um filtro vermelho, ao contrário dos rosas, dos vermelhos e dos negros que seriam de esperar, surgiam todas as cores.

Estas experiências sugerem que os olhos processam informação referente às diferentes relações de intensidade luminosas, distribuídas por toda a superfície da visão, e não apenas referentes à cor. Estas relações não são no entanto relações aritméticas simples e envolvem pelo contrário todo o campo de visão.

Usando projectores com luz pertencente a uma banda de comprimento de onda extremamente estreita, Land reproduziu os resultados anteriores.

Quer dizer, de uma maneira geral a condição necessária para a produção da percepção das cores das imagens naturais, era que houvesse uma relação que variava de ponto para ponto, entre luz de um comprimento de onda maior e luz de um menor comprimento de onda.

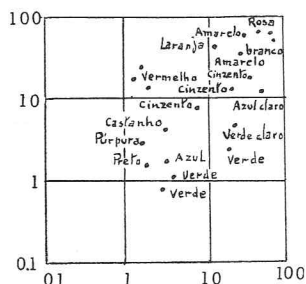
Uma pergunta natural, é a de se saber se é possível prever que cores irão surgir em cada ponto de uma imagem, nas condições da experiência de Land.

A resposta é afirmativa. O procedimento é o seguinte: projecta-se uma das imagens passando através do filtro correspondente, escolhe-se o ponto de maior intensidade luminosa e descrevem-se os outros pontos por uma função que é a intensidade luminosa nesses pontos, medida em relação à do ponto de intensidade máxima.

Faz-se o mesmo projectando exclusivamente a outra imagem através do filtro que lhe corresponde. Entra-se com esses valores num mapa cujas coordenadas são a percentagem de luminosidade. No cruzamento da ordenada com a abcissa, encontra-se nesse gráfico a cor que efectivamente se observa.

Na diagonal que vai do ângulo inferior esquerdo ao superior direito, os pontos são cinzentos. Acima desta linha sem cor estão as cores quentes do espectro, por baixo as cores frias. Repetindo a experiência com diferentes pares de bandas de comprimento de onda, verifica-se que para qualquer par que produz a gama completa de cores, a posição das cores no gráfico permanece a mesma. As coordenadas não

medem o comprimento de onda, a luminosidade ou outra grandeza física, mas sim uma relação entre intensidades.



Um outro aspecto importante é que, se a imagem for simples, dispendo-se os pontos em linhas rectas, ou mesmo em linhas curvas, apenas se obtém a combinação de cores Newtoniana.

Se pelo contrário, os pontos se distribuem por uma área extensa e de maneira aleatória, no que se refere à posição que ocupam no gráfico, então surgem de novo as cores do espectro para além da combinação Newtoniana.

A partir destas experiências, pode concluir-se que o sistema nervoso precisa apenas de informação acerca da luz de comprimento de onda longo e de comprimento de onda curto, nos pontos de cena que está a ser observada. Na expressão de Land, a situação é a mesma que em relação a uma estação emissora de rádio que emite a mesma informação em vários comprimentos de onda - o receptor tem que estar sintonizado para um deles, mas é indiferente qual.

Está ainda por esclarecer o que se passa na realidade no nosso sistema visual, isto é, se o nosso sistema visual apenas faz a avaliação entre um par de comprimentos de onda um dos quais é longo e o outro curto, ou se usa três ou até mais comprimentos de onda, e ainda o modo como o faz.

Hubel e Wiesel⁶⁷⁰ estudaram em 1966 o Núcleo Genuculado Externo do Macaco Rhesus, usando as técnicas de microelctrodos. Essa investigação tinha por objectivo permitir observar detalhadamente o modo como as células nervosas do Núcleo Genuculado Externo, reagem a variações da dimensão, forma e comprimento de onda do estímulo.

Encontraram uma grande variedade de respostas nas seis camadas do Núcleo Genuculado Externo.

Nas 4 camadas dorsais, Hubel e Wiesel distinguiram três tipos de resposta. As respostas de tipo I, caracterizam-se por uma organização antagonista do campo respectivo, havendo células com centro on para o Vermelho e periferia off para o Verde, ou centro off para o Vermelho e periferia on para o Verde. Igualmente havia células deste tipo com centros on para o Verde, com centro off para o Verde e com centro on para o Azul.

As células classificadas como no Tipo II, caracterizam-se também por terem respostas de tipo antagonista, por exemplo on, a comprimentos de onda curtos e respostas off a luz de comprimento de onda longo, ou o inverso.

A diferença entre estas células e as de tipo I, consistia no facto de o campo não estar organizado como no caso do tipo I, com um centro e uma zona anular à volta.

Nas células de tipo II, as regiões da retina correspondentes aos dois sistemas de cor, de curto e longo comprimento de onda, sobrepunham-se numa vasta extensão, embora houvesse diferenças, não só quanto à extensão, como ainda por um dos sistemas ter predomínio no centro do campo receptivo e o outro na periferia.

Nas células de tipo III, havia uma organização antagonista entre o centro e a periferia do campo receptivo. Ao contrário do que se passava com as células do tipo I, não havia, no entanto, diferença de sensibilidade espectral das duas zonas.

Nas experiências em que o animal esteve adaptado à obscuridade, havia células do tipo I, cuja sensibilidade aumentava 4 unidades logarítmicas, passando a obter-se respostas neuronais à luz, em todas as bandas do espectro e um desvio de Purkinje. Numa das células houve mudança das respostas de off para on e vice-versa. Noutras células não houve esta mudança, embora tivessem ocorrido as variações que acabamos de mencionar.

Destas modificações, Hubel e Wiesel concluíram que estas células recebiam aferências provenientes não só dos cones, mas também de bastonetes.

Noutras células de tipo I, não havia nem um desvio de Purkinje, nem qualquer aumento comparável da sensibilidade produzido pela adaptação à obscuridade.

A actividade destas células parecia portanto depender apenas dos cones.

Nas células de tipo II que estudaram, Hubel e Wiesel não observaram um aumento muito apreciável da sensibilidade, o que os levou a inferir que as suas reacções apenas dependeriam dos cones.

Entre as células do tipo III havia algumas com aumento da sensibilidade e com desvio de Purkinje, enquanto noutras não havia modificação.

Nas camadas inferiores do Núcleo Geniculado Externo, Hubel e Wiesel observaram respostas do Tipo III, que já descrevemos e um quarto tipo de resposta.

As respostas de Tipo IV, caracterizam-se por corresponderem a uma organização antagonista do campo receptivo, com um centro excitatório e uma periferia inibitória.

Estímulos de pequenas dimensões, provocavam respostas on de curta duração, a estímulos que podiam pertencer a uma ampla zona do espectro.

Quando a estimulação era feita com um estímulo que cobria tanto o centro como a periferia antagonista, não se obtinha qualquer resposta para os estímulos de comprimento de onda mais curtos. Desde o Violeta até ao Amarelo, não havia qualquer efeito sobre a actividade espontânea. Com os estímulos de maior comprimento de onda, correspondentes à zona do Vermelho no espectro, observava-se uma reacção de inibição da actividade espontânea, mantida enquanto durava o estímulo.

A zona inibidora periférica tinha uma extensão muito maior que em qualquer dos outros tipos considerados.

Quanto à localização relativa dos campos receptivos das células cuja actividade registaram nas camadas dorsais do Núcleo Geniculado Externo, Hubel e Wiesel verificaram que, nas penetrações radiais, os campos receptivos se sobrepunham ou estavam muito próximos uns dos outros.

Apesar deste estudo detalhado do modo de funcionamento das células do Núcleo Geniculado Externo, Hubel e Wiesel não conseguiram esclarecer qual é a função dessa estrutura do S.N.C.

No que se refere às relações entre cor e forma, as células de tipo III e as células de tipo I, podem transmitir informação não só referente à cor, como referente à forma do estímulo.

Seria ainda razoável supor que, para que ocorra a sensação de branco, é necessário que não ocorram simultaneamente respostas de células de tipo II que recebem aferências dessa zona.

Apesar de representarem um grande progresso na compreensão dos processos de visão da cor, os estudos de Hubel e Wiesel não trazem qualquer contribuição para o entendimento dos mecanismos neurofisiológicos, de que dependem os fenómenos perceptivos mais complexos, descritos por Land.

Esses fenómenos envolverão, muito provavelmente, mecanismos corticais ou interacções complexas monoculares e binoculares, que não foi ainda possível registar. Para isso a situação experimental terá que ser planeada de um modo diferente do que é convencional, e implicará graves dificuldades do ponto de vista técnico.

Capítulo II

Reflexos Condicionados

Foi através do estudo das reacções comportamentais de adaptação às modificações do ambiente que Pavlov obteve, por inferência indirecta, os conhecimentos que lhe permitiram formular uma teoria do funcionamento do Sistema Nervoso. Dentre os estudos modernos sobre a actividade cerebral, os dos reflexos condicionados de Pavlov⁵³⁰ têm importância fundamental, comparável à das investigações clássicas de Fritsch e Hitzig,¹⁸⁹ de Ferrier,¹⁶¹ ultrapassando-as porém na perfeição do planeamento experimental e na originalidade dos resultados.

Deve, no entanto, notar-se que Pavlov não fez qualquer tentativa para interpretar os resultados que obteve, tomando em consideração as relações interneuronais^{3,5,54,83} e os mecanismos de transmissão sináptica que constituem a base das teorias neurofisiológicas actuais e cujos conceitos básicos estavam nessa época a ser investigados por Sherrington.⁵⁹³ Pavlov criou uma ambiguidade ao não fazer a distinção entre o conceito de reflexo condicionado tomado (1) como descrição de um comportamento e (2) como unidade fisiológica da actividade nervosa.

Esta ambiguidade serviu-lhe para legitimar a sua tentativa de construir uma teoria "fisiológica", baseando-se em dados do "comportamento".

Os resultados comportamentais de Pavlov são fundamentais e ainda hoje constituem a contribuição mais importante neste domínio, mas a interpretação do funcionamento cerebral que propôs, não é satisfatória do ponto de vista neurofisiológico. A tentativa de síntese entre os resultados da escola de Pavlov e os da escola de Sherrington, veio a ser realizada muito mais tarde e é principalmente devida a Konorski.

A transposição dos conceitos reflexológicos para o domínio da neurofisiologia não é imediata. Por exemplo os conceitos de "excitação" e de "inibição" da teoria Pavloviana, não são sobreponíveis ao que se sabe sobre os mecanismos sinápticos "excitatórios" e "inibitórios" que foram estudados directamente através do registo intracelular, primeiro na espinal-medula^{144,145,146,155,569} e recentemente em neurónios do cortex cerebral.^{407,408,409,536,613} O mesmo se pode dizer em relação à habituação, extinção e ao papel atribuído ao cortex cerebral e às estruturas sub-corticais, na formação das reacções condicionadas.

Do ponto de vista metodológico, Pavlov considerou a sua técnica como a única adequada para o estudo da actividade nervosa, pois para a investigação dos reflexos condicionados não necessitava de observar os animais em "situação experimental aguda". Ficavam assim eliminados os inconvenientes da acção da anestesia, do trauma operatório, da acção mecânica sobre a substância nervosa, das variações de temperatura e da tensão arterial.

Além disso, as experiências em que se faziam destruições localizadas e que eram utilizadas pela fisiologia contemporânea dos primeiros trabalhos de Pavlov, levavam à produção de lesões que tinham consequências que ultrapassavam as perdas

de função local e se reflectiam no funcionamento do cérebro como um todo. Todos estes inconvenientes eram eliminados pelas técnicas de Pavlov.

É sem dúvida legítimo basear o estudo da fisiologia do cérebro em inferências indirectas feitas a partir do estudo do comportamento, quando não é possível usar outra estratégia de investigação. A situação modificou-se, porém, com os progressos da electrofisiologia, cujas técnicas nos permitem o estudo directo dos fenómenos do funcionamento do Sistema Nervoso, sem que seja necessária qualquer destruição, ou que a situação experimental tenha que ser operatória e aguda.

Como consequência das possibilidades oferecidas à neurofisiologia, a tendência actual é para dar preferência à investigação directa do cérebro.^{192,193} Um dos seus objectivos é, no entanto, o de contribuir para a compreensão do comportamento através do esclarecimento dos mecanismos fisiológicos que estão na sua base. Assistimos actualmente à fusão destas duas linhas de investigação.

Embora os resultados actuais sejam diferentes em muitos aspectos, o programa de investigação de Pavlov é directamente continuado pelos estudos electrofisiológicos.

Note-se que a posição tomada em relação aos mesmos problemas, pelos psicólogos da escola Behaviorista, é diferente, pois não procuraram descobrir as leis fisiológicas, mas sim as "leis macroscópicas ou molares" do comportamento. Partindo do facto de que os conhecimentos de anatomia e de fisiologia do Sistema Nervoso, embora valiosos, eram insuficientes para construir uma teoria adequada para as "unidades molares" do comportamento,^{310,311} por eles isoladas, esses investigadores recorreram a "constructos"⁹³, os quais, ao contrário dos de Pavlov, foram inferidos com base num critério empiricista operacional. Assim entraram na Psicologia numerosos conceitos e também "variáveis intervenientes" hipotéticas, às quais não corresponde qualquer realidade fisiológica e cujas relações com os dados obtidos na investigação psicofisiológica, são difíceis de estabelecer.

Neste aspecto, um dos maiores méritos de Pavlov, foi o de ter sido capaz de isolar da complexidade dos comportamentos adquiridos pelos animais, um verdadeiro fenómeno elementar e tê-lo reproduzido de maneira sistemática, nas condições laboratoriais.

TIPOS DE REFLEXOS CONDICIONADOS

"Se dois estímulos SI e SII são usados numa determinada sequência, pela repetição dessa sequência ocorre uma modificação plástica do Sistema Nervoso, que consiste no facto de o estímulo SI adquirir a capacidade de provocar uma resposta da mesma espécie que SII". Entende-se por SI, estímulo condicionado; e por SII, estímulo inato.

Esta definição, proposta por Konorski,³⁸¹ corresponde ao reflexo condicionado clássico de Pavlov⁵³⁰ (Reflexo condicionado de tipo I) com reforço alimentar positivo, e ao reflexo condicionado "instrumental"⁴⁷¹ (Reflexo condicionado de tipo II), em que se dá um reforço a uma reacção somática, que não foi directamente provocado pelo estímulo que o experimentador usou. Abrange, além disso, o reflexo condicionado operacional (Skinner⁵⁹ e Konorski), em que, por exemplo, um animal com fome é medido numa caixa que dispõe de certo número de alavancas, uma das quais, ao ser premida, põe em movimento um mecanismo que o recompensa com alimento.

O condicionamento instrumental representa uma modificação das condições experimentais do reflexo condicionado clássico, num sentido que as aproxima das existentes na aprendizagem por tentativa e erro, embora a fase de selecção de comportamentos que é característica da aprendizagem por tentativa e erro,⁶²⁰ seja eliminada ou fortemente reduzida, pela utilização de uma situação que faz com que a resposta adequada tenha, desde o início, uma elevada probabilidade de ocorrência.

O reflexo condicionado de tipo II (instrumental) difere do reflexo condicionado de tipo I (de Pavlov) nos seguintes aspectos:

I - No condicionamento instrumental mede-se uma resposta que leva a uma recompensa; por exemplo: é medida a rapidez com que se faz a aprendizagem em relação ao acto de premir uma das alavancas na caixa de Skinner, que determina o aparecimento do alimento, enquanto que são ignoradas respostas devidas ao estímulo incondicionado - por exemplo, no caso de reforço alimentar, o investigador não se interessa pelas reacções de mastigação, salivação, etc.

Pelo contrário, na situação do condicionamento clássico de Pavlov, mede-se a resposta ao estímulo incondicionado, por exemplo a salivação causada pelo estímulo alimentar, enquanto que as respostas, por exemplo, de orientação para o alimento, etc. - são ignoradas.

II - No reflexo de tipo II a resposta é somática, "voluntária", e tanto o estímulo como a resposta precedem o reforço.

III - No condicionamento de tipo II, a resposta é mais independente do reforço; a extinção é muito mais demorada e o reforço parcial é muito mais eficiente que no de tipo I.

IV - Nos animais descorticados pode fazer-se o condicionamento de tipo I, enquanto não é possível o de tipo II.

TEORIAS DA APRENDIZAGEM

Embora o conceito de aprendizagem abranja outros fenómenos além dos reflexos condicionados, e inclua todas as modificações do comportamento devidas a uma experiência anterior do animal, com excepção das resultantes da fadiga ou da acção de drogas, as formas de aprendizagem mais complexas têm sido descritas por vezes em termos de reflexos condicionados.

Se considerarmos as teorias que têm sido propostas e as classificarmos de acordo com as condições consideradas como necessárias para que a aprendizagem se faça, poderemos formar três grandes grupos:

- I - Teorias de reforço (E - R);
- II - Teorias em que o reforço não é considerado como necessário (E - E);
- III - Teorias que admitem a existência de um e outro tipo de mecanismos de aprendizagem.

A noção fundamental das teorias em que o reforço não é considerado como importante, é de que a aprendizagem implica uma reestruturação dos processos perceptivos.³⁷⁶ Esses processos perceptivos estão organizados em conjuntos complexos e com "propriedades de campo", segundo a teoria da Gestalt. Na explicação do processo de aprendizagem, adquirem então grande preponderância factores como a continuidade no tempo e no espaço, o contraste simultâneo, a motivação exploratória, etc.

Brogden e Karn^{62,63,357} demonstraram, em apoio deste ponto de vista, que se no decurso de um processo de condicionamento, num momento em que ainda não se obteve a resposta condicionada em relação a um dado estímulo, se associa a esse estímulo um outro durante um certo número de épocas, mais tarde, ao completar-se o condicionamento, verifica-se que tanto um como outro estímulo são capazes de provocar a resposta. Teria havido portanto um processo de condicionamento sensorio-sensorial, entre dois estímulos ainda neutros em relação a uma dada reacção. Em consequência desse condicionamento sensorio-sensorial, quando mais tarde um deles se transforma num estímulo condicionado de uma certa reacção, verifica-se que o outro também é um estímulo condicionado em relação a essa reacção.

Experiências de controle, permitem excluir que se trate de um fenómeno de generalização perceptiva e são favoráveis à hipótese de que tenha havido um processo de condicionamento perceptivo prévio, que se estabeleceu durante a fase de combinação dos dois estímulos.

Como exemplo das teorias do tipo II, podemos mencionar a de Tolman,^{626,627}

segundo a qual, à medida que a aprendizagem vai ocorrendo, se dá uma modificação e uma reestruturação das relações entre os dados perceptivos significativos (Signo-Gestalt-Expectância) que reflecte não só as novas relações entre os estímulos do meio ambiente, como implica também o conhecimento e a predição do comportamento necessário para obter um certo resultado.

A teoria de Guthrie²⁴⁸ que se baseia na existência de uma ligação entre o estímulo e a resposta, mas de tipo associativo, sem que o conceito de reforço entre no seu esquema conceptual, situa-se numa posição intermédia entre as teorias E - E e as teorias E - R.

As várias hipóteses em que é atribuída grande importância ao reforço (Hull,³¹¹ Thorndike)⁶²⁰ implicam geralmente a aceitação de que o reforço está relacionado com as condições que asseguram a sobrevivência do organismo ou de espécie, que servem um fim biológico favorável ao animal ou, pelo menos, representam um estímulo que o animal prefere ou que desperta nele um afecto.

Embora seja inegável que o reforço acelera o processo de aprendizagem e que os reforços mais eficientes são os que têm carácter de "recompensa", seria um erro admitir que outros estímulos sem carácter afectivo, ou que não servem fins biológicos imediatamente aparentes, não podem servir de reforço. Existem actualmente dados experimentais nesse sentido que serão mencionados adiante.

Como exemplo das teorias do tipo III, podemos citar a de Woodsworth,⁶⁷⁵ que admite que durante a aprendizagem surge, por associação, uma expectativa ou predição em relação à situação, em consequência da qual se altera o modo como uma sucessão de estímulos é percebida. O reforço iria actuar sobre esta expectativa.

Ainda que a sua teoria possa ser classificada como de tipo E - E, a posição de Pavlov é diferente da dos psicólogos Behavioristas. No seu esquema conceptual, reforço designa, não a satisfação de qualquer necessidade biológica ligada à ocorrência do estímulo incondicionado, mas o próprio estímulo inato ou incondicionado. Embora seja possível mencionar muitos casos em que o estímulo incondicionado leva o animal a um comportamento idêntico ao do reforço dos Behavioristas, é discutível se o esquema de Pavlov é sobreponível neste aspecto, àqueles que temos vindo a expor.

Outra diferença essencial consiste no facto de a teoria de Pavlov ser uma teoria "fisiológica", proposta para os reflexos condicionados. Os fenómenos a que se aplica não têm uma amplitude tão grande como a que corresponde ao conceito de aprendizagem. A sobreposição é, porém, tão extensa que é legítimo discuti-las em conjunto, como estamos a fazê-lo neste momento, porque, como já dissemos, o reflexo condicionado é um verdadeiro fenómeno elementar da aprendizagem, que permite o estudo analítico dos processos mais complexos, pelo menos daqueles que são tratados na psicologia comportamental.

Na formulação recente de Konorski,³⁷⁸ a formação do reflexo condicionado explicar-se-ia pelo estabelecimento de relações funcionais novas entre os grupos de células que são excitadas. Formar-se-iam novas junções sinápticas nas terminações dos axónios no corpo celular ou nos dendritos, ou haveria modificação das junções sinápticas já existentes. De maneira idêntica, Eccles¹⁴⁴ propôs a hipótese, baseado numa analogia com as modificações encontradas por Hill²⁸⁹ nas fibras nervosas em actividade, de que as terminações dos axónios aumentam de tamanho pela sua utilização, tornando-se maior a área de contacto sináptico, o que facilitaria a passagem dos impulsos nervosos.

TEORIAS FISIOLÓGICAS DOS REFLEXOS CONDICIONADOS

Mecanismos Corticais e Sub-corticais

Pavlov e os seus colaboradores, bem como a escola russa de estudos da actividade nervosa superior, consideraram as reacções condicionadas como o resultado

do estabelecimento de conexões entre um "analisador cortical condicionado" e um "analisador cortical incondicionado". As estruturas sub-corticais eram tratadas do ponto de vista teórico, como servindo apenas de elementos intermediários que permitem a condução dos impulsos nervosos originados nos receptores periféricos, até aos analisadores corticais, ou dos centros corticais motores até aos efectores periféricos.

As reacções condicionadas dependeriam essencialmente de processamentos efectuados no cortex cerebral.

Este esquema teórico deu origem a demorada controvérsia, quanto à existência de respostas condicionadas dependentes de mecanismos sub-corticais e, em geral, quanto à importância dos processamentos realizados em estruturas sub-corticais, no que concerne às diversas componentes em que é possível analisar uma resposta condicionada.

Do ponto de vista comportamental e das reacções efectoras, Ten Cate⁹¹ e numerosos outros investigadores, foram capazes de obter respostas condicionadas em animais descorticados ou mesmo descerebrados. Estas respostas condicionadas eram rudimentares e compostas de reacções vegetativas e de expressões ligadas a uma modificação do estado afectivo, bem como de uma modificação da actividade geral somática. Bard⁹² conseguiu obter respostas condicionadas em animais mesencefálicos. Ficou assim provada a possibilidade de obter certas respostas desse tipo sem participação dos analisadores corticais, o que enfraqueceu a posição rígida da escola Pavloviana. Por outro lado, Hernandez - Peón²⁸¹ verificou que, após destruições parciais da formação reticular, que não afectavam as respostas incondicionadas, se observava o desaparecimento de certas reacções condicionadas.

Grastyán²²² verificou que a estimulação eléctrica de certas zonas do S.R. tinha uma acção facilitadora ou inibidora de respostas condicionadas.

O cortex cerebral tem no entanto importância para a obtenção quer de algumas das componentes de certas respostas condicionadas, quer de certas respostas condicionadas consideradas na sua totalidade. Paget mostrou, em experiências realizadas em cães, que não era possível obter movimentos de evitamento de estímulos nociceptivos, usando estímulos acústicos como estímulos condicionados. O animal descorticado reage apenas com um aumento do tono muscular, tremor, manifestações vegetativas de tipo simpático, sem que no entanto ocorram os movimentos de evitamento do estímulo nociceptivo.

Em relação a este problema, o uso dos métodos electrofisiológicos veio permitir o estudo directo dos processamentos cerebrais.

Assim, no que respeita à actividade do cérebro, registada por métodos electrocorticográficos, Gastaut²⁰⁰ demonstrou que, após o condicionamento de certas respostas, a estimulação pelo estímulo condicionado provocava uma modificação da actividade cerebral nas zonas de projecção do estímulo incondicionado. Gastaut interpretou este resultado como significando que, durante o processo de condicionamento se abrem vias não específicas através do tálamo, que permitem o acesso à zona de projecção correspondente ao estímulo incondicionado, para as mensagens sensoriais que correspondem ao estímulo condicionado.

Numerosos autores verificaram modificações da amplitude de potenciais evocados pelo estímulo condicionado, bem como da extensão e das áreas do cortex cerebral em que é possível registar esses potenciais. Estes resultados são interpretados como correspondendo à abertura de novas vias de acesso, não específicas.

Os estudos já mencionados levaram Albe-Fessard¹⁶⁵ e Gastaut a inferir que o processo de condicionamento resulta da convergência de aferências sinápticas hetero-sensoriais, como já havia sido posta^{433,354,355,356} como hipótese por Konorski.

Os resultados de Kandel e Tauc^{162,163} mostram que processos desse tipo existem efectivamente nos neurónios de organismos mais simples.

Os resultados que vamos expor adiante, bem como os de Machne⁴³⁷, Albe-Fessard, Gastaut, confirmam que as aferências tanto específicas como não específicas podem interagir do modo que seria necessário para que processos análogos aos observados por Kandel e Tauc na *Aplysia*, possam efectivamente ocorrer nos neurónios do SNC dos vertebrados superiores. Note-se, no que concerne à localização dos neurónios que intervêm nos processos de condicionamento, que Albe-Fessard e Gas-

taut foram os primeiros a atribuir ao S.R. papel primordial nesses mecanismos.

No entanto, Gastaut ^{198,201} alterna nos seus artigos, formulações mutuamente inconsistentes, em que ora atribue aos neurónios de S.R. as modificações que permitem a ocorrência de respostas condicionadas, ora a constelações de neurónios distribuídos por diferentes estruturas cerebrais ou do tronco cerebral.

Enquanto que a teoria Pavloviana implicava uma série de elos dispostos "linearmente" de centro para centro, na hipótese de Gastaut essas vias são consideradas a um nível de análise unitário, que permite a formulação de hipóteses ou de teorias muito mais detalhadas. Segundo Gastaut, o condicionamento ocorre em neurónios, que pertencem predominantemente ao S.R.. As condições para que o condicionamento ocorra em cada um desses neurónios são diferentes, o que permite um elevado número de combinações possíveis. Se a cada uma dessas combinações corresponder uma resposta condicionada diferente, desse facto resultará que um número relativamente reduzido de neurónios será suficiente para produzir um número elevado de reacções condicionadas diferentes.

Baseando-se nos dados existentes na época em que formulou essa hipótese, Gastaut admitiu que esses neurónios poderiam pertencer não só à Substância Reticular do Tronco Cerebral, e do Tálamo, mas ainda à Amígdala, ao Hipocampo, ao Corpo Estriado e ao Cortex Associativo.

Embora admitindo esta diversidade de localizações dos neurónios "associativos" pelas estruturas já mencionadas, incompatível com a simplicidade do modelo Pavloviano, Gastaut mantém grande ambiguidade na sua interpretação.

De maneira dificilmente conciliável com a restante discussão que faz deste problema, acaba por atribuir a maior densidade destes neurónios ao Tálamo Óptico, porque a formação das novas vias "se exprime no cortex por uma dessincronização localizada e não generalizada" (lembramos com efeito que a excitação localizada do S. Reticular talâmico não age senão sobre regiões circunscritas do cortex cerebral, enquanto que a do S. Reticular mesencefálico provoca uma activação cortical generalizada).

A interpretação de Gastaut e Roger é muito discutível, quanto à importância relativa do papel desempenhado pela Substância Reticular e pelo Córtex, no que concerne os mecanismos responsáveis pelas respostas diferenciadas. As sugestões que fazem são porém plausíveis no que concerne a outros componentes das respostas condicionadas.

Efectivamente é possível que, tal como foi sugerido por Anokhin, muitas das respostas posturais, automatismos motores e principalmente reacções simpáticas e parasimpáticas preparatórias para a acção e que permitem a adaptação do meio interno⁸⁰ às condições necessárias para que possam ocorrer as respostas condicionadas mais diferenciadas, dependam de processos de condicionamento ao nível da S.R. do tronco cerebral.

Resumindo, Gastaut admite a participação de mecanismos dependentes não só da Substância Reticular do Tronco Cerebral, mas ainda do Hipotálamo, do Hipocampo e do Núcleo Amigdalino, do Tálamo Óptico, do Caudado e do Corpo Estriado e ainda do cortex associativo. As relações cortico-subcorticais são consideradas por Gastaut dentro de um esquema de regulação por interacção mútua, em que o cortex tem uma acção inibidora sobre as estruturas sub-corticais, exercida quer através de mecanismos de condicionamento primariamente corticais, quer da projecção sobre o cortex, do resultado de processamentos, em que a ligação condicionada ocorreu primariamente ao nível sub-cortical.

É nesta perspectiva que devem ser interpretados os resultados obtidos por Olds, por Grastyán, Morrell e outros autores, e que descreveremos adiante.

A estrutura relacional das componentes de uma resposta condicionada, torna-se mais compreensível, se usarmos a interpretação de Gastaut, para explicarmos o papel dos mecanismos de motivação e de reforço, no estabelecimento das respostas condicionadas.

Deve ainda mencionar-se a função de selecção e filtragem de informação aferente realizada pela S.R., de que estarão possivelmente dependentes os mecanismos de extinção, de habituação, de inibição e de desinibição interna e externa.

Igualmente ficou bem estabelecido, desde os trabalhos de Jasper e Sharpless,⁵⁹² que as respostas condicionadas de orientação e investigação estão dependentes de um processo que ocorre no Sistema Reticular.

No que se refere às aferências ascendentes que permitem a acção do S.R. sobre o cortex cerebral durante o processo de condicionamento, Gastaut estabelece uma relação entre as aferências do S.R. Mesencefálico que têm uma acção difusa, e a diminuição dos potenciais evocados específicos, que se observa na área de projecção cortical que corresponde ao estímulo condicionado, quando o estímulo condicionado consiste numa sucessão de estímulos repetidos de maneira rítmica.

Por outro lado, atribue ao Sistema Difuso de Projecção Tálamo-Cortical as modificações que se observam na área de projecção cortical que corresponde ao estímulo incondicionado. Essas modificações consistem, ou na ocorrência de uma dessincronização localizada a essa área,^{72,73,78} ou de um "potencial evocado condicionado", que a partir dos resultados de Buser⁷² e Borenstein, e de Jasper,³³³ Ricci e Doane, deve ser interpretado como correspondendo a uma facilitação de respostas já existentes antes do condicionamento.

Note-se que esse efeito de facilitação poderá ter lugar, quer ao nível cortex cerebral, quer no núcleo Postero-Lateral do Tálamo Óptico, quer ainda no próprio Sistema Reticular Talâmico.

Teoria de Anokhin^{19,20}

I - Reflexo de Orientação-Investigação: Quando o animal é posto em presença de um estímulo ou de uma situação inesperada, reage com um comportamento que é habitualmente designado de Reflexo de Orientação-Investigação de Pavlov.

Este reflexo é geralmente considerado como inato ou incondicionado, manifestando-se, do ponto de vista comportamental, por movimentos pelos quais o animal se orienta e aos seus receptores para a situação ou para o estímulo inesperado.

Simultaneamente observa-se no cortex cerebral uma reacção do EEG que descreveremos adiante, e que foi designada de reacção de alerta (arousal).

Simultaneamente com a "dessincronização" que se observa no cortex cerebral, há ao nível do Hipocampo um fenómeno oposto, com aparecimento de ritmos teta, como foi descrito por Green e Arduini. Os trabalhos de Grastyán^{218,219} vieram mostrar que esta resposta teta do Hipocampo durante o reflexo de orientação, não constante para todos os estímulos.

Os estímulos que, embora inesperados, eram conhecidos do animal, e com os quais já estava familiarizado, davam origem a ritmos teta, enquanto que os estímulos que eram completamente novos, provocavam dessincronização no hipocampo, portanto uma reacção idêntica à do cortex cerebral. Grastyán distinguiu entre uma e outra resposta, designando a primeira de reflexo de orientação e a segunda "reacção de sobressalto" (Startle Response).

Segundo Grastyán, tanto um como outro desses fenómenos representam a primeira fase do processo de condicionamento em relação a uma certa resposta e, ao mesmo tempo, são já eles próprios reacções condicionadas.

Ainda em relação com o reflexo de orientação-investigação de Pavlov, Sokolov⁵⁹⁹ propôs recentemente uma hipótese sobre a existência de um "Modelo neuronal", que se vai constituindo no cortex ao mesmo tempo que vão ocorrendo as estimulações sucessivas. Esta designação de modelo neuronal, significa que se forma no cérebro uma representação interna do estímulo, à medida que este vai sendo sucessivamente apresentado ao animal.

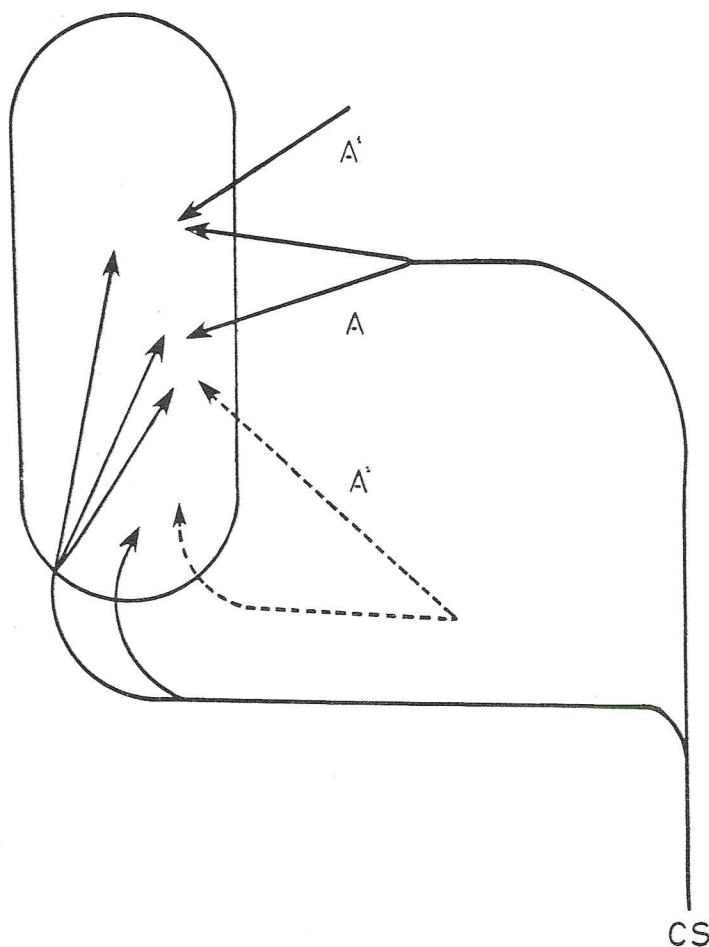
A não coincidência entre um estímulo e a predição feita a partir da informação acumulada no modelo neuronal, daria origem à reacção de orientação. Esta reacção de orientação desapareceria ao fim de um certo número de estimulações, porque nessa altura já o modelo se teria modificado, e haveria acordo entre as características representadas pela actividade neuronal que constitui o modelo, e as que correspondem à actividade provocada pelo estímulo.

O reflexo de orientação, segundo Sokolov,^{647,648} é um sistema funcional que aumen-

ta o poder de discriminação dos analisadores cerebrais, por intermédio das vias que se dirigem do Sistema Reticular, quer para os receptores periféricos, quer para os núcleos intermediários das vias aferentes e para o cortex. Nesse aspecto integra-se no mecanismo de selecção através do Sistema Reticular que já referimos. As investigações de Sokolov serão descritas em detalhe, dada a importância da demonstração experimental da existência de um modelo neuronal dos estímulos do Meio Externo.

Resumindo: no reflexo de orientação há uma reacção a uma situação nova que não está de acordo com a expectativa de modelo interno do mundo externo. Depois do reflexo de orientação-investigação, tem lugar segundo Anokhin, a fase de "síntese aferente".

II - Síntese aferente: O conjunto das aferências sensoriais originadas por estímulos do meio externo, das aferências vegetativas (cardíacas, respiratórias, vasculares, etc.) e, ainda, hormonais, iria somar-se à acção inespecífica activadora do SRAA e à acção mais diferenciada do SDPTC. Sob o controle e filtragem dos mecanismos de selecção, dependentes do Sistema Reticular, estes dados estruturar-se-iam num todo, que foi designado de síntese aferente. A estes dados actuais, Anokhin acrescenta os resultantes da experiência anterior do animal. Realiza-se assim uma integração entre experiência passada e actual.



Representação esquemática do estágio de síntese aferente.
 A¹ represente aferências de diferentes modalidades sensoriais.
 A² representa a acção colateral dessas aferências, exercida através das conexões das vias específicas com a formação reticular do tronco cerebral.
 É no contexto formado por estas aferências que o estímulo condicionado CS exerce a sua acção, quer através das vias específicas A, quer do sistema reticular (ramo inferior não sinalizado).

Esta participação de memórias de actividades anteriores tem grande importância, porque se pode admitir que, a partir da acção passada, o animal pode prever qual virá a ser a acção futura, em face ao conjunto de estímulos do meio externo e do meio interno.

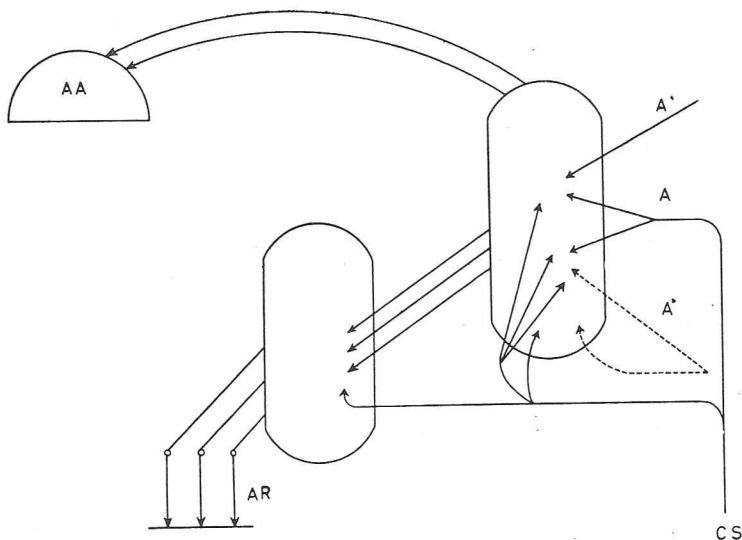
A ocorrência desta predição que depende da experiência anterior do animal na sua adaptação ao meio, permitiria explicar o carácter intencional e aparentemente finalista do comportamento.

Este mecanismo fisiológico da "antecipação" foi designado por Anokhin de "Aceptor da acção".

III - Aceptor da acção: A memória pode ser também explicada dentro do esquema, admitindo a existência de circuitos reverberantes, que se reexcitam a si próprios, conservando por esse mecanismo funcional algumas das características da actividade neuronal que correspondeu ao acto passado. Após certo tempo, estas memórias, inicialmente funcionais, adquiririam um carácter mais permanente, por meio de modificações morfológicas, que adiante referiremos. Este mesmo mecanismo poderia explicar a existência de aprendizagem como resultado de uma única apresentação dos estímulos, uma vez que eles desencadeariam um processo funcional, que se manteria a si próprio o tempo suficiente para dar origem a uma modificação permanente.

Formar-se-ia assim no cérebro, um conjunto de modificações que, depois de certo número de repetições, perderiam o carácter funcional e passariam a ter um substrato estável, morfológico.²⁰³

São estes mecanismos de memória que permitem a integração da experiência passada com os estímulos actuais no acceptor da acção. A formação antecipada do acceptor da acção, determinaria quer a organização da estrutura do comportamento quer a escolha e a elaboração dos actos individuais desse comportamento.



Estádio de formação do acceptor da acção (AA).

O acceptor da acção surge depois de a síntese aferente estar realizada. Representa a experiência anterior do animal que se relaciona com a acção reflexa. O animal realizaria assim uma previsão dos resultados do acto reflexo.

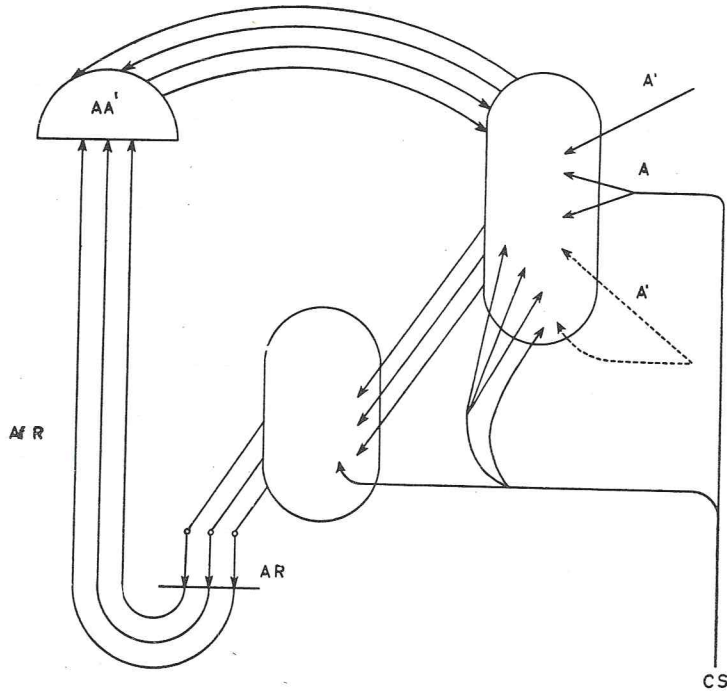
Acto reflexo (AR).

Sob o controle do córtex cerebral e da formação reticular, têm lugar as reacções motoras e vegetativas que constituem o acto reflexo.

Sob a sua influência, dar-se-ia a preparação para a acção, entrando em actividade mecanismos vegetativos que a favorecem.

Teria então lugar o acto effector, que dá, por sua vez, origem a aferências sobre os resultados da acção, que vão ser confrontados com a antecipação feita pelo acceptor da acção. Este mecanismo foi designado de Reaferentação ou Retroacção (Feedback).

Se não há correspondência entre a reaferentação referente ao acto realizado e à antecipação existente no acceptor da acção, e que depende das experiências passadas, surge de novo a reacção de orientação-investigação, tendo portanto início um novo ciclo de condicionamento.



Representação gráfica das modificações adaptativas no seu conjunto, incluindo a Reaferentação de retorno (AfR), que é formada pelas aferências que transmitem informação sobre o acto reflexo e os seus resultados.

Estas aferências são comparadas com o conteúdo do Aceptor da acção, completando-se o ciclo do reflexo condicionado, no caso de haver coincidência, ou recomeçando o ciclo com nova reacção de orientação-investigação se não houver coincidência.

A Teoria de Anokhin baseia-se, em grande parte, como acabamos de ver, em resultados de investigação neurofisiológica, dirigida originariamente no sentido do esclarecimento de outros problemas, como por exemplo o dos mecanismos de regulação vigília-sono, atenção, percepção, filtragem da informação aferente pelo Sistema Reticular, convergência multissensorial, mecanismos centrais de regulação vegetativa, etc.

Nesta investigação, os métodos electrofisiológicos tiveram um papel dominante.

ESTUDO ELECTROFISIOLÓGICO DOS MECANISMOS DO CONDICIONAMENTO

Os estudos electrofisiológicos dos reflexos condicionados podem ser divididos em três grandes grupos:

I - Estudos em que se procura registar as modificações da actividade ce-

rebral que acompanham o estabelecimento da reacção condicionada comportamental.

II - Estudos em que os estímulos "naturais" condicionados e incondicionados foram substituídos por estimulação eléctrica do SNC.^{135,138} Neste caso o receptor periférico não participa na elaboração do reflexo, o que pode ter vantagem para o estudo dos mecanismos centrais da aprendizagem. Não se pode porém esquecer que os estímulos eléctricos que são usados correntemente na investigação neurofisiológica se afastam acentuadamente dos fenómenos eléctricos da actividade nervosa normal, o que restringe o valor deste método de investigação.

III - Um terceiro grupo é constituído por trabalhos cujo objectivo é exclusivamente o estudo das respostas eléctricas condicionadas, que podem até não se manifestar exteriormente por um comportamento correlacionado com elas. Quer dizer: a electrofisiologia veio demonstrar que há reacções condicionadas no SNC que não se acompanham de qualquer manifestação comportamental. Neste caso, o único critério^{491,492} para se determinar se houve condicionamento, é o facto de uma resposta eléctrica provocada inicialmente apenas pelo estímulo incondicionado, passar a ser obtida também com o estímulo condicionado, sem que haja qualquer comportamento observável.

Para estudar os processos fisiológicos envolvidos no condicionamento, uma das estratégias empregadas tem sido a de, por um lado, reduzir artificialmente a complexidade do Sistema, e por outro conseguir o isolamento do Sistema, de modo que todas as suas entradas e saídas sejam observáveis e possam ser descritas exhaustivamente.

Reacções Celulares que Podem Servir de Paradigma para os Mecanismos Neurofisiológicos do Reflexo Condicionado Clássico

O exemplo extremo desta estratégia, é dado pelo estudo feito por Kandel de respostas neuronais em células de um gânglio isolado de *Aplysia*.^{353,354,355,356} Kandel registou as respostas dessa célula por meio de um microeléctrodo introduzido no corpo celular. As respostas estudadas eram provocadas por estimulação eléctrica dos nervos aferentes do gânglio.

A situação experimental foi interpretada no seu conjunto, tomando como paradigma o esquema do Reflexo Condicionado Clássico: um dos estímulos que eram eficazes desde o início (estímulo incondicionado), no sentido de que ao ser aplicado a uma fibra aferente provocava uma resposta da célula, era usado depois da estimulação eléctrica de outra fibra, que inicialmente não provocava qualquer resposta neuronal. Este estímulo era considerado como Estímulo Neutro.

Após aplicação repetida de ambos os estímulos, na ordem indicada, verificava-se num pequeno número de fibras que o estímulo deixava de ser neutro e passava a provocar uma resposta semelhante à que dependia do estímulo eficaz desde o início.

Por resposta, entendia-se o aumento de Potencial Excitatório Post-Sináptico, PEPS, e não a ocorrência de um potencial de acção.

Em experiências de controle, verificou-se que o efeito de facilitação não ocorria, se os estímulos não eram apresentados com um pequeno intervalo de tempo na sucessão indicada. Kandel não tentou, no entanto, fazer o condicionamento em ordem inversa, o que restringe a qualidade da sua interpretação dos resultados.

Kandel estudou além disso, as respostas da "célula gigante" do gânglio da *Aplysia*. Vê-se que o efeito de facilitação do "estímulo neutro", não dependia tão estritamente como no caso anterior, de os dois estímulos estarem sempre associados.

Se o estímulo eficaz era aplicado regularmente, o efeito de facilitação ocorria, mesmo que o estímulo neutro fosse usado irregularmente.

O efeito de facilitação heterosináptica observado na célula gigante, ocorria também quando fazia a estimulação cutânea da *Aplysia*, desde que esse estímulo fosse usado em seguida a um estímulo eléctrico fraco.

Tauc e Gerschenfeld⁵¹⁴ demonstraram que este efeito não era devido a uma desinibição, pois persistia após aplicação local de curare. Note-se que Tauc e Gerschen-

feld haviam previamente verificado que o efeito de inibição nestas células gigantes era quase inteiramente colinérgico.

Kandel interpretou os resultados obtidos, como dependendo de um efeito pré-sináptico que a aferência eficaz exerceria sobre a via do estímulo condicionado, fazendo com que aumentasse a quantidade de substância transmissora, libertada nessa sinapse por cada impulso.

Uma outra aplicação possível, seria a de que o efeito de facilitação dependesse de uma potenciação post-tetânica.

Reacções Celulares que Podem Servir de Paradigma para os Mecanismos Neurofisiológicos do Reflexo Condicionado Instrumental

Em relação ao Reflexo Condicionado do Tipo II ou Instrumental, Kandel registou a actividade de células que tinham descargas que surgiam de modo regular, e que não dependiam de estímulos que estivessem sob o controle do experimentador. O estímulo incondicionado era então aplicado, de acordo com a definição de Reflexo Condicionado Instrumental, logo após o início de descarga "espontânea". Kandel verificou que a descarga espontânea seguinte surgia então, com um intervalo mais pequeno.

Se pelo contrário o estímulo incondicionado era aplicado durante um período de repouso da célula, verificava-se um aumento da duração do tempo em que na célula não havia descargas^{67,68,69} de potenciais de acção.

Tauc e Bruner, verificaram também na *Aplysia*, reacções electrofisiológicas correspondentes aos fenómenos comportamentais de "habituação".

Se deixavam cair gotas de água sobre a extremidade cefálica da *Aplysia* havia uma reacção de contracção no corpo. Quando esse estímulo era repetido a intervalos regulares de 30 segundos, a resposta atenuava-se progressivamente. Se o animal repousava (desinibição interna), ou se aplicava um estímulo noutra ponto da superfície cutânea (desinibição externa), a resposta de contracção reaparecia.

Do ponto de vista electrofisiológico, ao fazer-se a estimulação repetida, o Potencial Excitatório Post-Sináptico, PEPS, ia diminuindo progressivamente. Após 15 minutos de repouso, o PEPS voltava a ter a amplitude inicial (desinibição interna) e o mesmo acontecia ao aplicar outros estímulos (desinibição externa).

A característica essencial destas investigações, consiste em o processo do condicionamento ser tornado objecto de um estudo fisiológico directo.³⁷³

Históricamente, os primeiros trabalhos neste domínio, diziam respeito ao condicionamento da reacção da suspensão da actividade Alfa do EEG. Esta reacção inicialmente ocorria apenas em relação aos estímulos visuais. Por um processo de aprendizagem, passava a ser produzida também pelos estímulos acústicos.

Seguiu-se o estudo dos potenciais evocados corticais e das suas modificações pelo condicionamento, nos aspectos da sua latência, amplitude e duração. Verificou-se que as respostas, que apresentam um elevado grau de variação antes do condicionamento, se estabilizam depois de este ter ocorrido.

Buser e Borenstein,^{73,74} Hernandez-Peón e Jouvét²⁴⁹ observaram a modificação durante o condicionamento dos potenciais evocados, principalmente das zonas associativas.

Sobre as modificações das respostas corticais das áreas primárias durante o condicionamento, é importante o trabalho de Murata, que conseguiu observar na área visual primária respostas neuronais condicionadas a estímulos acústicos.

Por outros autores foi descrito o aparecimento de actividade com características novas durante o condicionamento, cuja interpretação é ainda difícil. Muitos dos registos publicados mostram ritmos rápidos ou lentos, diferentes da actividade habitualmente observada no cortex cerebral.

Outros autores observaram as modificações que ocorrem, tanto no cortex como em núcleos subcorticais, durante as várias fases do condicionamento.

Roy John e Keith Killam³³⁶ estudaram em preparações crónicas, com eléctrodos implantados, a actividade do cortex visual e acústico, do Núcleo Geniculado Ex-

terno, da Substância Reticular mesencefálica, do Septo, e do Hipocampo, durante um condicionamento do tipo II, em que o estímulo condicionado era constituído por um estímulo luminoso intermitente, e o estímulo incondicionado por um choque eléctrico aplicado a uma pata do animal.

As primeiras ocorrências do estímulo condicionado provocavam respostas em todas as zonas referidas. Vinte dias depois, os estímulos que entretanto nunca tinham sido reforçados, já só provocavam alterações mínimas, localizadas ao sistema visual, principalmente no Núcleo Geniculado Externo.

Quando o estímulo incondicionado ocorria pela primeira vez depois deste treino inicial, surgiam respostas de grande amplitude em todas as zonas estudadas, quer pertencentes às vias específicas quer ao sistema inespecífico. A partir daí, o E.I. passava a acompanhar regularmente o E.C.. Quando, ao fim de certo número de apresentações, a aprendizagem se completava, e o animal reagia regularmente com respostas condicionadas ao estímulo luminoso, voltavam então a restringir-se a amplitude e a distribuição das modificações da actividade eléctrica. Nessa fase final, as respostas eram mais evidentes no Cortex Visual e no Núcleo Geniculado Externo.

O aparecimento de respostas generalizadas depois do E.I., pode ser interpretado como devido ao reforço exercido pelas formações subcorticais, principalmente o Sistema Reticular, o que está de acordo com a concepção de reforço de Pavlov.

A função de outras estruturas subcorticais é ainda mal compreendida, no que respeita o condicionamento. Têm sido descritas respostas evocadas que surgem de novo ou se tornam estáveis durante o condicionamento, no Núcleo Caudado, no Núcleo Amigdalino, e nos núcleos associativos do Tálamo.

O Sistema Límbico tem sido estudado intensivamente. Já descrevemos as observações de Grastyán e outros⁵⁷⁹ no Hipocampo durante o reflexo de orientação-investigação. Não podemos deixar de fazer referência aos trabalhos de Olds e Olds,⁵¹⁷ que conseguiram fazer o condicionamento operacional de unidades celulares do Paleocortex. Morrell obteve também respostas unitárias condicionadas em formações do Sistema Límbico.

Grastyán^{220,221} e colaboradores conseguiram desencadear, usando para isso estímulos eléctricos que actuavam sobre o hipotálamo, reacções tanto de aproximação como aversivas previamente estabelecidas por meio de condicionamento.

Grastyán designou este fenómeno de "Activação eléctrica de Respostas Condicionadas".

Os animais eram condicionados operacionalmente de modo a obter-se (1) uma reacção positiva, com aproximação de um local onde estavam contidos alimentos, quando se fazia a estimulação acústica com a frequência de 10/seg. e (2) uma reacção de fuga cujo estímulo condicionado consistia em clicks repetidos com a frequência de 1 000/seg. O estímulo incondicionado consistia neste caso na inundação da caixa.

Ao fazer a estimulação de zonas laterais do hipotálamo, na ausência de estimulação acústica, o animal tinha tendência a reagir com uma resposta alimentar positiva.

Se pelo contrário se fazia a estimulação do hipotálamo associada à estimulação acústica a resposta tendia a ser de fuga.

A intensidade da estimulação era um factor importante para a determinação do tipo de reacção que se obtinha. Por outro lado, se o animal no momento da estimulação estava a olhar para a caixa que continha os alimentos, então a resposta era positiva alimentar. Se pelo contrário estava a olhar para a plataforma onde se defendia da inundação da caixa, então era uma resposta de fuga para essa plataforma.

Estas reacções ocorriam na ausência de estímulos condicionados, o que permite supor que os mecanismos hipotalâmicos têm um papel importante, no desencadeamento de reacções condicionadas.

Para estudarem a participação do Hipocampo nos processos de condicionamento, Grastyán e colaboradores usaram uma situação experimental diferente.

Esse método consistia na estimulação eléctrica do hipotálamo que o investigador iniciava, mas que podia ser interrompida pelo animal de experiência, se este, no decurso da sua reacção ao estímulo, premisse um pedal de grandes dimensões.

Grastyán e colaboradores,^{220,221} observaram que a estimulação do hipotálamo com estímulos fracos, desencadeava uma reacção de aproximação, enquanto que um estímulo intenso, provocava uma reacção de fuga. Por outro lado, a interrupção de um estímulo fraco, levava a uma reacção condicionada de fuga, em relação ao local em que o animal se encontrava quando a interrupção tinha ocorrido, enquanto que a interrupção de um estímulo forte, levava a uma reacção condicionada positiva, de preferência do animal por esse local.

As reacções observadas no Hipocampo tinham estreita correlação com os comportamentos do animal: as reacções condicionadas positivas, de preferência pelo local onde a pressão interrompia um estímulo intenso, ou onde tinha havido coincidência com o início de um estímulo fraco, eram acompanhadas de actividade Teta no Hipocampo, de 3 a 5 c/s, ou mesmo Delta; as reacções negativas de fuga, provocadas por estímulos intensos ou pela interrupção de um estímulo fraco, estavam associadas a uma reacção de dessincronização no Hipocampo, com actividade rápida, de tipo Beta.

Grastyán e colaboradores, interpretaram estas experiências tomando a reacção do Hipocampo como uma expressão fisiológica do Ímpeto (Drive), do animal. A redução do Ímpeto que corresponde à interrupção de um estímulo intenso, seria um reforço às reacções de condicionamento positivo, enquanto que o aumento do ímpeto daria lugar às reacções de condicionamento negativo.

Weinberger,⁶⁵⁴ Velasco e Lindsley, demonstraram que enquanto um estímulo condicionado seguido de reforço, era capaz de bloquear uma reacção de Recrutamento provocada por estimulação eléctrica do Tálamo, o mesmo não acontecia, senão durante um breve instante de orientação para o estímulo, quando se usava também um outro estímulo que não era seguido de reforço.

O bloqueio de Reacção de Recrutamento cessava após uma destruição local, na S.R. Mesencefálica. É por isso possível que o Reforço dê lugar, a modificações do funcionamento do SDPTC mediadas pela S.R. Mesencefálica.

Além dos resultados já mencionados, Olds observou que numa situação em que um rato podia provocar estimulação na região postero-lateral do hipotálamo, esse estímulo era usado de maneira repetida. Essa auto-estimulação cessava se ao mesmo tempo o rato era submetido à acção de estímulos eléctricos através de eléctrodos implantados na Calote Mesencefálica.

Olds postulou duas relações de inibição: (1) entre as áreas corticais olfactivas e a região do Hipotálamo em que têm origem as fibras periventriculares e (2) entre esta última região e a região lateral do Hipotálamo, onde a estimulação eléctrica produz com regularidade efeitos de reforço positivo.

Pequenas lesões produzidas lateralmente na proximidade dos Corpos Mamilares, numa zona onde as fibras do Feixe Cerebral Médio terminam ou passam para o Mesencéfalo, produzem o desaparecimento de reacções de fuga.

Pelo contrário, Olds nunca conseguiu produzir uma lesão capaz de provocar a cessação de uma auto-estimulação, quando os eléctrodos estavam implantados na região postero-lateral do Hipotálamo. Estas experiências de Grastyán e as de Olds, visam esclarecer as relações entre o processo de condicionamento e a motivação.

Reacções Neuronais Durante o Processo de Condicionamento

Kogan,³⁷² Anokhin, Jasper, Ricci e Doane,⁵⁶¹ Morrell,⁴⁹³ Olds e Olds⁵¹⁷ conseguiram fazer o condicionamento experimental de respostas neuronais no S.N. de vertebrados.

Os estudos da actividade de células isoladas, com a técnica de microeléctrodos, vieram levantar o problema da correspondência entre os conceitos inferidos a partir do estudo do comportamento e os obtidos pela observação electrofisiológica directa do SNC.

Em regiões em que, a partir da observação comportamental se deveria esperar registar fenómenos de inibição, obtém-se uma amostragem caracterizada por respostas neuronais complexas: algumas células são activadas, outras inibidas, outras ainda não mostram qualquer reacção.

O mesmo se passa em relação aos fenómenos comportamentais em que se poderia prever que ocorresse activação neuronal.

Em conjunto com os trabalhos de outros investigadores já referidos, os estudos de Jásper, Ricci e Doane ^{333,561} iniciaram uma nova linha de investigação, em que se procurava estabelecer relações entre a actividade de células do S.N.C. e reacções condicionadas.

Usando como animal de experiência o macaco (*Macaca Mullata*), em preparação crónica, com microeléctrodos implantados, esses autores registaram a actividade de neurónios localizados no córtex Frontal, Motor, Somato-sensorial e Parietal, durante experiências de condicionamento instrumental, de tipo II, em que o estímulo condicionado era constituído por uma sucessão de estímulos luminosos intermitentes e o estímulo incondicionado por choques eléctricos dados 5 a 6 segundos depois da estimulação luminosa.

Esta associação de estímulos foi repetida até que o animal evitava o choque em 90% dos casos, fazendo um movimento com o membro superior.

Estes autores estudaram também, as respostas neuronais concomitantes com processos de extinção.

Na área motora, os registos foram feitos na área de comando dos movimentos do membro superior, localização que foi comprovada por estimulação eléctrica.

Foram observadas respostas em que, por exemplo, (1) células que tinham uma actividade espontânea irregular, reagiam com um aumento de frequência de descarga depois do início do E.C.. Este aumento persistia durante alguns segundos, portanto para além do tempo em que ocorreria a R.C., (2) outras células reagiam com diminuição ou suspensão da descarga durante o E.C. e voltavam a estar activas depois da ocorrência da R.C., (3) Outras células ainda reagiam com inibição no início do E.C. e um segundo período de inibição que precedia a RC e persistia durante o tempo em que ela ocorria. (4) Outras células ainda reagiam com uma activação inicial de curta duração que coincidia com o E.C. Após esta activação inicial não havia modificação em relação ao período de repouso durante o intervalo entre o EC e o EI e reagiam com inibição durante a RC.

A modificação mais significativa observada nas células da Área Motora, foi o aumento de frequência na actividade das células da zona motora, em cerca de metade das células que foram estudadas.

Durante o processo de condicionamento, a actividade das células não estava relacionada com o EC, a menos que o EC fosse já seguido de uma RC, o que Jasper e colaboradores interpretaram como significando que a actividade das células do cortex motor apenas reflectia os mecanismos efectores do RC, excepto no que se refere às respostas de activação inicial concomitante com o EC, que foram interpretadas como respostas de alerta, inespecíficas, sem relação com o estímulo condicionado, tomado directamente como tal.

No cortex somato-sensorial, as respostas celulares observadas tinham as mesmas características que as do cortex motor. O aumento da frequência das descargas foi observado também em cerca de 50% das células. A relação entre a resposta de activação e a contracção muscular era ainda mais nítida que nas células do cortex motor. Estas respostas foram interpretadas como não tendo relação com o EC. Dependiam, segundo Jasper e colaboradores, dos impulsos aferentes que resultam da contracção muscular e que são transmitidos aos centros nervosos.

No cortex frontal apenas em 33% dos casos as células reagiam com variação de frequência da sua actividade.

As reacções de inibição eram mais frequentes que as de excitação.

No cortex parietal, em cerca de 60 a 75% dos casos não houve modificação da frequência da actividade das células. No entanto, as que reagiam eram efectivamente condicionadas, no sentido de que as suas respostas passavam a depender de maneira estrita de cada um dos estímulos luminosos. Se, além disso, se fazia a diferenciação usando estímulos luminosos de frequência mais elevada, passavam a não ocorrer em relação com esses estímulos. Antes de a diferenciação estar concluída, as respostas ocorriam tanto em relação com uma como com outra frequência de es-

timulação, o que prova que o efeito de inibição dependia do processo de condicionamento.

Lissak e Grastyán⁴⁷, ao estudarem reflexos condicionados de tipo I, alimentar e de defesa, verificaram que no início do processo de condicionamento, o estímulo neutro provocava uma dessincronização da actividade do Hipocampo, semelhante à que ocorre no Neocortex e não provocava portanto a resposta característica de reacção de alerta.

Depois de certo número de associações dos estímulos, passavam a surgir ondas teta simultaneamente com uma reacção condicionada de orientação.

Depois do estabelecimento da reacção condicionada e coincidindo com o desaparecimento da reacção de orientação, a reacção teta desaparecia de novo, sendo substituída por uma reacção de dessincronização.

A partir da análise dos fenómenos comportamentais e fisiológicos, Lissak e Grastyán concluem que o papel do Hipocampo no estabelecimento das Reacções Condicionadas, é o de inibição do Reflexo de Orientação.

São igualmente interessantes, para o ponto de vista que nos interessa, as investigações de Morrell, que conseguiu o condicionamento de uma resposta DC cortical, provocada por estimulação eléctrica do Tálamo, empregando como estímulo condicionado um estímulo acústico.

Variações dos Potenciais DC Durante o Processo de Condicionamento

Rusinov⁵⁶⁷ demonstrou, com uma experiência cujos resultados são complementares dos de Morrell, a importância que a existência de um foco de polarização cortical pode ter, para a formação de uma ligação condicionada. Utilizou estimulação cortical com uma corrente contínua (DC), que iria reproduzir algumas das características dos fenómenos de polarização que provavelmente constituem um factor importante, do funcionamento cortical.

Rusinov verificou que, quando fazia a polarização anódica da zona de projecção cortical da pata posterior de um coelho, os estímulos acústicos ou visuais passavam a provocar os movimentos dessa pata. Esta acção podia prolongar-se por meia hora após a interrupção da corrente.

No entanto, os parâmetros de estimulação, eram muito diferentes dos verificados por registo fisiológico (a voltagem é $10^3 \times$ a observada nos registos de potenciais DC de Goldring e O'Leary⁵¹⁸, Arduini²⁴, Caspers⁸⁸ e a intensidade da corrente 10^3 a $10^4 \times$ superior ao limiar de excitação de uma célula).

Em 1962, Morrell e Naitoh⁴⁹⁴ observaram que as respostas condicionadas de neurónios do córtex visual ao estímulo acústico, surgiam mais rapidamente e mantinham-se durante muito mais tempo sem sofrerem extinção, se se fazia uma polarização local na superfície do cortex, com uma corrente anódica. Por outro lado, estímulos catódicos perturbavam o curso do condicionamento.

Estas experiências, inspiradas pelas de Rusinov, sugerem que os mecanismos de reforço poderiam depender das variações lentas de potencial no cortex que facilitaríamos a retenção de certos tipos de resposta.

Segundo Morrell, a polarização anódica do cortex pode ter efeitos similares aos da estimulação das regiões subtalâmicas, da S.R. do Mesencéfalo ou do Hipotálamo. Os potenciais corticais lentos, poderiam ser devidos nessas situações, aos potenciais sinápticos produzidos nas células do cortex. Uma outra interpretação possível, seria a de que os potenciais lentos corticais, nas situações de condicionamento seriam devidos à activação do Sistema Difuso de Projecção Tálamo-Cortical. A confirmar essa interpretação, Arduini obteve respostas generalizadas com potenciais lentos negativos à superfície do cortex, semelhantes aos que ocorrem nas reacções de alerta.

Rowland⁵⁶⁹ conseguiu fazer o condicionamento de reacções corticais lentas, à cessação de um estímulo acústico.

Grey Walter⁶⁵¹ e colaboradores, descreveram em 1964, uma variação lenta de potencial que designaram de Variação Contingente Negativa.

Começaram por fazer uma estimulação acústica simples, em que registavam as respostas no vertex, tomando como referência um eléctrodo colocado sobre a apófise mastoideia. As respostas eram processadas em grupos de 6 a 8, de modo a obter uma resposta média desses traçados, ponto por ponto, com um certo grau de resolução no tempo.

Inicialmente, nesta situação, nada de especial surgia no registo, no intervalo entre o estímulo acústico e uma série de estímulos luminosos.

Assim que aos sujeitos usados na experiência, era dada a instrução de que logo que ouvissem o som, manipulassem interruptores de modo que impedissem as luzes de se acenderem, a partir de então, surgia imediatamente uma subida da linha de base no traçado, da ordem dos 20 e 25 mv.

Esta resposta aparecia sem que fosse necessário qualquer treino ou repetição da situação.

Estudo das Respostas Condicionadas Obtidas por Estimulação Eléctrica do Cortex

Pertencem à mesma linha de investigação electrofisiológica que temos vindo a discutir, os estudos de Doty,³⁵ que obteve respostas condicionadas, utilizando como estímulo condicionado um estímulo eléctrico cortical e como E.I. um estímulo nociceptivo numa pata. Fazendo "underut" da zona onde estimulava, a resposta desaparecia. Voltava a surgir quando o animal era de novo treinado, enquanto nas experiências de circunsecção, sem interferência com as vias subcorticais, a resposta nem sequer desaparecia. ¶

Se nos recordarmos de que, como Lashley³⁹⁶ demonstrou, o processo de aprendizagem não depende de uma área circunscrita do cortex, mas sim de um processo muito extenso, é admissível supor que estes sistemas difusos terão papel importante na coordenação, entre os estímulos sensoriais que correspondem à modificação do meio e a gama complexa de respostas que constituem a adaptação do SN a essa alteração, de que apenas conhecemos uma pequena parte. As reacções comportamentais estudadas nos trabalhos clássicos, são apenas uma das manifestações desses processos adaptativos. Existem muitos outros processos que não se exprimem numa conduta.

Estas considerações levam-nos para o terceiro tipo de experiências em que a electrofisiologia tem dado a sua contribuição, nomeadamente as modificações que não se tornam manifestas por um comportamento. Elas constituem um domínio cujo estudo está apenas iniciado. Pertence-lhes o pré-condicionamento sensorial de que falámos na introdução e ainda os fenómenos do condicionamento sensório-sensorial.

Pré -Condicionamento Sensório-Sensorial

F. Morrell⁴⁹² estudou o pré-condicionamento sensório-sensorial, obtendo resultados extremamente interessantes para a compreensão dos mecanismos de reforço.

Os estímulos empregados, eram visuais e acústicos. O início do estímulo acústico precedia o do estímulo visual, mas havia sobreposição parcial no tempo, de ambos os estímulos.

Ambos os estímulos eram dados de maneira repetida, com intervalos regulares, provocando respostas no cortex visual em correspondência com os pares de estímulos.

Não se obtinha qualquer resposta quando durante o início do processo de associação o estímulo acústico era apresentado isoladamente.

Num estadio ulterior do processo, o estímulo acústico provocava uma reacção generalizada, caracterizada por actividade Beta de baixa amplitude.

Mais tarde, a estimulação era capaz de por si só, provocar as respostas rítmicas que antes do início do processo, só ocorriam quando se fazia a estimulação luminosa. Estas respostas, limitadas à área visual, sofriam rápida extinção, sendo substituídas por actividades Beta de pequena amplitude.

O Conceito de Modelo Neuronal de Sokolov

Nas suas investigações, Sokolov conseguiu obter dados experimentais suficientemente convincentes, de que no cérebro se constitui um modelo interno dos estímulos exteriores.

Este "modelo neuronal" é um conceito neurofisiológico que corresponde, embora de forma restrita, às concepções cibernéticas propostas por K. Craik⁵⁶ em 1943.

A demonstração de Sokolov^{593, 647, 648} é elegante e merece ser examinada em detalhe. Sokolov serve-se (1) da reacção de habituação que consiste no desaparecimento de uma resposta incondicionada, quando o organismo é sujeito a uma estimulação monotonamente repetida, e (2) da reacção de extinção que consiste no desaparecimento de uma resposta condicionada, quando o estímulo condicionado não é reforçado.

Sokolov escolheu como objecto do estudo neurofisiológico a Reacção de Orientação - Investigação. Simultaneamente com o registo electroencefalográfico nas áreas occipital e motora, fez o registo da Reacção galvânica da pele, das variações de frequência da respiração, dos movimentos dos globos oculares e de respostas musculares.

A estimulação consistiu em estímulos visuais, tácteis e proprioceptivos. A escolha da "Reacção de paragem do Ritmo Alfa" como variável electrofisiológica justifica-se, pois há íntima relação entre os factores que provocam a extinção ou a desinibição desse bloqueio do Ritmo Alfa e aqueles aos quais o animal responde com movimentos dos globos oculares, rotação da cabeça, aumento do estado de alerta, etc. e que Pavlov descreveu como Reflexo de Orientação - Investigação.

Sokolov e Voronin, verificaram que a rapidez da extinção era diferente para as diferentes variáveis estudadas, de acordo com a modalidade do estímulo. No entanto, em geral, a extinção de certo número de respostas periféricas, precedia as modificações de actividade Alfa. Este facto contradiz as hipóteses de Galambos,^{191, 194} Jouvet e Hernandez-Péon,³³⁹ no que concerne à possibilidade de a extinção ser devida a um bloqueio das vias aferentes, a um nível periférico. A ser assim, a própria reacção central estaria abolida, concomitantemente com as periféricas.

Por outro lado, a hipótese de que o desaparecimento da resposta fosse devido apenas a uma diminuição da excitabilidade, é infirmada pelo facto de que, depois de ter ocorrido a extinção, a resposta reaparecia quando se empregava um estímulo mais fraco. Nessas circunstâncias, se a hipótese fosse verdadeira o estímulo seria sub-liminar e continuaria a não ocorrer resposta.

O aparecimento da resposta de bloqueio do Ritmo Alfa, implica segundo Sokolov, que fica armazenado no SN um traço de memória que representa o estímulo em relação ao qual, ocorreu a extinção e que, ao fazer-se a estimulação com um estímulo mais fraco, tem lugar a comparação entre o estímulo mais fraco e o traço armazenado. O reaparecimento do Reflexo de Orientação e de Bloqueio do Ritmo Alfa resultará da disparidade entre ambos.

É a este registo da memória que é comparado com os novos estímulos que Sokolov chama "Modelo Neuronal".

Para esclarecer que estruturas do S.N. participavam na formação do "Modelo Neuronal", Sokolov mostrou não só que (1) se a extinção ocorria em relação a uma estimulação sensorial multimodal e depois se fazia a estimulação com um desses estímulos, mas apresentado isoladamente, o Reflexo de Orientação reaparecia, bem como o Bloqueio do Ritmo Alfa, como ainda que (2) se a extinção ocorria em relação a um estímulo verbal com um certo conteúdo semântico, a extinção persistia, se se empregassem palavras diferentes do ponto de vista fonético, mas com a mesma significação, enquanto que reaparecia, se o conteúdo semântico do estímulo fosse diferente.

Com base nestes dados, Sokolov concluiu que nestes processamentos de símbolos verbais, tem que intervir o cortex cerebral e que portanto o cortex tem importante participação na extinção e na desinibição da Reacção de Orientação - Investigação.

A corroborar os dados experimentais de Sokolov, Sharpless e Jasper⁵⁹² verificaram que a extinção selectiva das respostas que faziam parte de reacções comple-

xas de alerta, desaparecia para sempre ao fazer-se a extirpação do cortex. Por outro lado Rowland⁵⁸⁸ mostrou que depois da ablação do cortex, era impossível conseguir a extinção selectiva de certas respostas de alerta a vários conjuntos de sons.

Sokolov serviu-se destes dados, para pôr uma restrição em relação às teorias dos RC em que se admite o papel preponderante ou exclusivo do Sistema Reticular. A partir dos seus resultados a S.R. estaria sujeita ao controle exercido pelo Cortex Cerebral.

Habituação e Extinção

Se submetemos um animal à acção monótona e repetida de um estímulo incondicionado, passado certo tempo o animal deixa de manifestar qualquer resposta. Dá-se a esse processo o nome de habituação.

Extinção designa o desaparecimento de uma resposta condicionada, quando o estímulo condicionado é apresentado repetidas vezes, sem que haja reforço.

Estas definições foram estabelecidas inicialmente em relação a fenómenos comportamentais, e utilizadas mais tarde para designar as modificações electrofisiológicas que ocorrem respectivamente, como resultado da apresentação repetida de um estímulo inato, ou de um estímulo condicionado não seguido de reforço.

Artemiev²⁶ observou em gatos, em estado vigil, que os potenciais evocados acústicos, registados no cortex auditivo, desapareciam rapidamente quando o estímulo era sucessivamente repetido. Este fenómeno, observado por Artemiev, era uma manifestação cortical de um fenómeno análogo à habituação.

Pelo contrário, nos animais submetidos a anestesia, os potenciais permaneciam estáveis durante estimulações sucessivas.

Não é possível, a partir apenas dos estudos de Artemiev, saber se o processo por ele estudado tem lugar no cortex cerebral, como à primeira vista se seria tentado a pensar, ou se, pelo contrário, é apenas uma expressão cortical de modificações da informação aferente operadas a um nível subcortical.

A investigação mostrou que a transmissão sensorial, quer ao nível da Espinal Medula quer ao nível bulbar, por exemplo no Núcleo de Goll, ou ainda ao nível do Tálamo, por exemplo no Núcleo Genuculado Externo, ou mesmo nos receptores periféricos, como a Retina ou a Cóclea, é muito modificada pela estimulação eléctrica de estruturas subcorticais, nomeadamente da Substância Reticular.

Hernandez-Peón²⁸⁰ estudou os mecanismos "centrífgos" que estão implicados na Habituação, e que actuam sobre as vias sensoriais, quer sobre os receptores periféricos, quer nos seus núcleos de articação talâmicos ou no Tronco Cerebral, conforme os casos.

Hernandez-Peón e Scherrer²⁸⁴ observaram que a repetição monótona de um estímulo acústico, tinha como consequência a diminuição dos potenciais evocados acústicos, registados no Núcleo Coclear Posterior. Este estudo foi confirmado por Galambos e ampliado por Hernandez-Peón, Jouvet e Scherrer. A recuperação pelos potenciais evocados, das características que tinham antes da habituação, ocorria: a) depois de um período mais ou menos prolongado de repouso; b) pela apresentação de um estímulo acústico diferente; c) pela associação repetida dos estímulos acústicos, em relação aos quais tinha havido habituação, com um estímulo nociceptivo; d) com a anestesia por barbitúricos; e) por lesão da Calote mesencefálica.

Registando simultaneamente a actividade do Cortex e do Núcleo Coclear, Lipschitz observou que a habituação, a julgar pelos potenciais evocados, ocorre no cortex em primeiro lugar e só depois no Núcleo Coclear.

Esta observação mostra que, durante a habituação, a inibição sensorial tem lugar a níveis diferentes nas vias aferentes específicas, e que os níveis mais elevados são atingidos mais cedo e são mais susceptíveis a este efeito que os menos elevados. Observações semelhantes foram feitas em outras vias sensoriais.

Outros mecanismos têm sido sugeridos como importantes para a habituação, por exemplo, no caso dos estímulos visuais, as modificações do diâmetro pupilar⁶.

Os resultados são dispares^{7,195} e, enquanto certos autores lhes atribuem uma

importância fundamental, outros negam que o papel das variações do diâmetro pupilar tenha importância comparável à dos mecanismos que temos vindo a citar.

Um fenómeno idêntico ao da habituação nas vias sensoriais, é também observado ao nível dos sistemas não específicos. Cabe neste grupo a habituação da reacção de alerta.

Os estímulos novos provocam um reflexo de orientação no gato em estado vigil. Deixam rapidamente de provocar esta reacção, se forem apresentados ao animal de maneira repetida. Se for ainda mais prolongada a repetição, pode mesmo chegar a obter-se o adormecimento do animal.

Esta habituação da reacção do alerta, é explicável pela intervenção de um sistema inibidor extra-reticular, que exerce acção sobre o SRAA.

Jouvet,³³⁸ baseando-se em experiências em que eram efectuadas secções do tronco cerebral a níveis diferentes, admite a existência de um sistema inibidor telencefálico, que inibe o SRAA, no decorrer da habituação da reacção de alerta. Este sistema não depende provavelmente de uma área única do cortex, pois, por exemplo, a habituação a estímulos acústicos é possível depois da ablação do cortex acústico primário. Este sistema pode ser posto em actividade por aferências não específicas, como o prova o facto de a habituação ser possível depois da secção das vias acústicas ao nível do Tronco cerebral.

É possível que sigam pelas vias descritas por Scheibel e Scheibel,⁵⁷⁶ por Nauta e Kuypers,⁵⁰⁵ que permitem a condução dentro do próprio SRAA.

Jouvet sugere que, durante a habituação do reflexo de orientação, os estímulos podem fazer o desencadeamento da actividade do sistema inibidor telencefálico, que actua sobre o Sistema Reticular Activador do Tronco Cerebral.

A habituação pode ser considerada como uma forma simples de aprendizagem, pela qual um estímulo inato irrelevante deixa de provocar respostas. A extinção, que se manifesta pelo desaparecimento de uma resposta, quando ela não é seguida durante um certo número de apresentações por um reforço, é explicável por mecanismos idênticos aos encontrados para a habituação, e que implicam igualmente a participação do Sistema reticular e do cortex cerebral.

Estamos assim em presença de um mecanismo fisiológico capaz de inibir uma resposta. No contexto em que Pavlov empregou o termo inibição, ele dizia respeito a um fenómeno comportamental, isto é, ao facto de após uma série de apresentações do estímulo condicionado, não seguidas de reforço, haver extinção da resposta condicionada. Pavlov empregou o termo inibição e não, por exemplo, esgotamento da resposta, porque se o animal repousasse certo tempo e fosse de novo estimulado pelo estímulo condicionado, a resposta voltava a ocorrer. A resposta condicionada voltaria também a surgir, se juntamente com o estímulo que havia sido condicionado e depois extinto, se desse ao animal um estímulo novo. Poder-se-ia concluir, portanto, que a tendência para a resposta teria estado presente durante o período de extinção, mas que teria havido um processo activo de inibição que impediria que ela ocorresse.

Capítulo III

Estudo Electrofisiológico dos Mecanismos de Regulação da Vigilidade e da Atenção

ESTUDOS MACROFISIOLÓGICOS

Em 1935, Bremer⁵⁷, ao fazer a preparação que actualmente é conhecida como "Encéphale isolé", verificou que apesar da grande deaferentação que resultava da secção da Medula cervical, o gato mantinha uma sucessão periódica de estados de vigilidade e de sono, aproximadamente normal.

Se pelo contrário a secção era feita na parte anterior dos Pedúnculos Cerebrais, preparação "Cerveau isolé" de Bremer, o gato mantinha-se sem despertar e com um EEG característico de sono. Bremer interpretou este efeito hipnogénico da secção cirúrgica transversal completa do Mesencéfalo, como dependendo de uma deaferentação sensorial cortical. Deixou assim escapar uma importante descoberta, nomeadamente de que o efeito observado era devido ao facto de a Substância Reticular do Mesencéfalo deixar de actuar sobre o cortex.

Em 1949, Moruzzi e Magoun⁴⁹⁷ mostraram que a estimulação da Substância Reticular do Tronco Cerebral, nas regiões Ponto-Mesencefálicas, com um estímulo de elevada frequência, provocava em gatos, com preparação "Encéphale isolé", uma reacção electroencefalográfica característica.

Após a estimulação, observava-se no EEG um predomínio de actividade Beta de pequena amplitude, que é correntemente designada de "actividade dessincronizada". Ao mesmo tempo o animal despertava, abria os olhos e investigava o ambiente. Esta correlação entre comportamento e estimulação da Substância Reticular do Mesencéfalo, foi o ponto de partida para uma sucessão de descobertas, que levaram à formulação de uma teoria fisiológica para os fenómenos psicológicos da vigilidade e da atenção.

Do facto de a reacção de Alerta (Arousal) depender da Substância Reticular, Moruzzi e Magoun concluíram que o efeito hipnogéneo da preparação "Cerveau isolé" era devido, não à falta de aferências específicas, mas à ausência de acção activadora da Substância Reticular, em consequência da secção cirúrgica.

Lindsley, Boyden e Magoun⁴¹⁵ e Lindsley, Schreiner, Knowles e Magoun⁴¹⁶ confirmaram os resultados de Moruzzi e Magoun, e as conclusões destes quanto à importância do S.R. para a manutenção do estado de vigilidade. Esses resultados foram obtidos numa série de experiências, em que verificaram que a interrupção das vias sensoriais específicas, mantendo intacta a S.R. não produzia modificações, quer comportamentais quer electroencefalográficas, comparáveis às observadas por Bremer. Se pelo contrário as vias específicas eram mantidas e apenas era lesada a S.R., o efeito era hipnogéneo. Estes resultados infirmavam, portanto, a interpretação de Bremer.

As experiências de Moruzzi e Magoun foram repetidas em outras espécies, tendo sido confirmados os seus resultados. O método usado permitiu obter consistentemente, por estimulação eléctrica da S.R. Mesencefálica, um efeito de alerta similar ao produzido por estímulos sensoriais em animais intactos. Note-se que as primeiras observações de fenómenos análogos, tinham sido feitas nos trabalhos ini-

ciais de Berger,⁴⁵ em 1929, e nas experiências e observações com as quais Adrian⁶ e Matthews confirmaram em 1934, os resultados de Berger.

O uso do método de registo electroencefalográfico, teve grande importância no desenvolvimento subsequente da teorização sobre a fisiologia do S.R. e das relações entre o S.R. e Cortex Cerebral. Efectivamente, o esclarecimento das funções do S.R. foi predominantemente obtido por métodos electrofisiológicos. As próprias conclusões anátomo-fisiológicas só vieram a ser obtidas mais tarde.

No entanto estes estudos tiveram precursores, nomeadamente as experiências de Hess²⁸⁶ sobre a existência de um centro diencefálico cuja estimulação se provou ter efeito hipnogéneo, e as de Ranson⁵⁵⁵ e Magoun^{445,447} quanto à existência no Hipotálamo, de um centro de que dependeria o estado de vigília. Estes resultados vieram também a ser confirmados e completados por um conjunto de investigações, que trouxeram uma importante contribuição para o nosso conhecimento do modo de funcionamento do S.N.

Uma das características importantes do Sistema Reticular, consiste no facto de nele convergirem aferências de todas as modalidades sensoriais, bem como do sistema nervoso Simpático e Parasimpático, e ainda de muitas outras zonas do S.N.C.

Por sua vez, o S.R. iria actuar sobre o cortex cerebral. Ficava assim provado que ao lado das vias aferentes específicas, havia um sistema inespecífico.

As experiências de French, e Magoun,⁶³ e de Starzl e Magoun,⁶³ que registaram no S.R., potenciais evocados por aferências somato-sensoriais, visuais e acústicas: as de P. Dell¹²³ que registou potenciais evocados por estimulação visual, somática e olfactiva; as de Starzl, Taylor e Magoun,⁶⁰⁴ que registaram potenciais evocados somato-sensoriais e acústicos; as de Dell e Bonvallet,²⁴ que registaram potenciais evocados por estimulação proprioceptiva, mostraram que os fenómenos de convergência eram os mais característicos do modo de funcionamento do S.R. Ao contrário do que se passava com as aferências específicas para as áreas de projecção primária do cortex cerebral, no S.R. havia uma organização relativamente inespecífica.

Análogos fenómenos de convergência, foram observados de maneira difusa na Substância Cinzenta Central, no Centro Mediano Talâmico, nos Núcleos Intralaminares do Tálamo, nas regiões Sub-Talâmicas e no Hipotálamo.

Note-se que apesar deste carácter difuso das respostas, havia zonas com certa especificidade, no sentido de que, em relação a certas das aferências o limiar era mais baixo e menor a variabilidade dos potenciais. No que concerne à acção sobre o cortex, as experiências mostraram que os efeitos de estimulação do S.R. Talâmico eram mais circunscritos que os devidos ao S.R. do Tronco Cerebral.

Por outro lado, Bremer e Terzuollo⁵⁹ em 1954, e French, Hernandez-Péon e Livingston¹⁸ em 1955, registaram na S.R. potenciais evocados por estimulação de certas zonas do cortex cerebral, nomeadamente da zona oculomotora frontal, da zona de sensibilidade somática, da Circunvolução do Cíngulo, do Cortex Orbitário, da ponta do Lobo Temporal, Primeira Circunvolução Temporal e região Para-Occipital. Assim, se os fenómenos observados no S.R. Talâmico e no S.R. do Tronco Cerebral, serviam de explicação para os fenómenos psicológicos da atenção e da vigília. ficavam lançados os fundamentos para uma integração desses mecanismos com os dependentes do Cortex e outras estruturas cerebrais.

Ross Adey⁹⁵ e colaboradores, registaram na S.R. potenciais evocados por estimulação da Área Entorrinal, e Green²²⁴ e Adey¹ por estimulação do Hipocampo. Foram também observadas na S.R. potenciais evocados por estimulação do Cerebelo e dos Núcleos Cinzentos da Base.

Estas respostas eram convergentes, tal como acontecia em relação aos potenciais evocados por estimulação sensorial.

Como já dissemos, além do Sistema Reticular do Tronco Cerebral, foi descrito, a partir dos trabalhos de Morison e Dempsey, um outro sistema difuso - o Sistema Difuso de Projecção Tálamo-Cortical.

Morison^{488,489} e Dempsey^{128,129} observaram em 1942 que estimulando o Núcleo Intralaminar do Tálamo Óptico, obtinham respostas de latência mais longa e com maior dispersão da amostra, do que quando o estímulo era aplicado aos núcleos talâmicos das vias sensoriais específicas.

Um estímulo único, aplicado ao Núcleo Intralaminar do Tálamo, provocava respostas cerebrais com as características dos fusos (spindles) que ocorrem numa das fases do adormecer. Essas descargas surgiam com pequena latência no cortex frontal, e com maior latência nas outras regiões do cortex cerebral.

Quando Morison e Dempsey faziam a estimulação com uma frequência de repetição de 6 a 12 c/seg., obtinham uma resposta de "Recrutamento" (Recruiting Response) caracterizada por ondas negativas à superfície do cortex, que aumentavam progressivamente de amplitude, até atingirem o máximo ao fim de 2 a 5 estímulos, verificando-se depois uma diminuição da amplitude, seguida de novo aumento progressivo, com sucessivas fases de "Crescendo e Decrescendo" (Waxing and Waning).

Com estímulos de frequência superior a 20 c/seg. não surgia a resposta de Recrutamento, e pelo contrário o EEG podia passar a ser caracterizado por actividade de Beta.

A latência da primeira resposta superfície-negativa, era da ordem dos 20 a 40 milisegundos.

Jasper e Drooglever-Fortuyn³³¹ demonstraram em 1947, que a estimulação do Sistema Reticular Talâmico com impulsos rectangulares, repetidos com a frequência de 3 c/seg., provocava descargas bilaterais síncronas de ponta e onda, com as características das pontas e ondas que se observam no pequeno-mal epiléptico, que são acompanhadas no homem de um estado de inconsciência, quando persistem mais do que 3 seg.

Por outro lado, a estimulação repetida com a frequência de 6 a 12 c/seg., dos núcleos talâmicos pertencentes às vias sensoriais específicas, provocava respostas que ao contrário do que se observou no Recrutamento, eram localizadas às respectivas zonas de projecção cortical específica.

Estas respostas iniciavam-se por um potencial evocado, com uma primeira onda positiva, a que se seguiam ondas difásicas positivo-negativas, com o Crescendo e Decrescendo já observados no fenómeno de Recrutamento e que são designadas de Respostas com Aumento (Augmenting Responses)⁵⁶⁶.

Como já dissemos, os estudos fisiológicos mostraram que, de maneira análoga ao que se passa em relação ao S.R. do Tronco Cerebral, também o S.D. de Projecção Tálamo-Cortical recebe aferências de diferentes modalidades sensoriais - somestésica, visual e acústica. Esses estudos foram devidos, entre outros, a French¹⁶³ e colaboradores, a Starzl, Taylor e Magoun,⁶⁰⁴ a Albe Fessard^{164,166} e colaboradores, etc.

Os potenciais observados no S.R. Talâmico têm maior latência, variabilidade, e maior adaptação que os potenciais registados nas zonas talâmicas de projecção específica. Encontramos assim os dois fenómenos - convergência e maior dispersão dos tempos de latência dos potenciais, que já haviam sido observados no S.R. do Tronco Cerebral.

As inter-relações entre o S.R. Talâmico^{328,329} e os sistemas sensoriais específicos ocorrem, quer através das conexões intratalâmicas quer ao nível do cortex cerebral.³³⁰

Do ponto de vista da interacção entre S.R. e Cortex Cerebral, uma das diferenças que existem entre a organização do S.R. do Tronco Cerebral e o S.R. Talâmico, consiste no facto de as respostas cerebrais serem difusas ou generalizadas, embora com predomínio no cortex frontal e motor, no primeiro, enquanto no segundo há zonas do SDPTC que exercem acção reguladora sobre áreas circunscritas, relativamente bem delimitadas, do cortex cerebral.

Este tipo de reacção não difusa, como veremos adiante, tem uma interessante interpretação psicofisiológica em relação aos fenómenos da Atenção, ou, como vimos quando tratámos dos Reflexos Condicionados, com os fenómenos da Habituação e da Extinção.

ESTUDOS MICROFISIOLÓGICOS

Embora já no século XIX tenha sido feito o estudo anatómico do S.R. e tenham sido propostas interpretações funcionais com importantes pontos de contacto com as que tenho vindo a expor, o ponto de partida para as concepções actuais foi predominantemente fisiológico.

Os estudos electrofisiológicos, quer directamente da S.R., quer dos efeitos de acção do S.R. sobre o cortex ou outras estruturas cerebrais, mostram que a acção deste sistema tinha como uma das suas características principais a de ser difusa. Deve ter-se presente no entanto, que a maioria desses estudos foram feitos com macro-registos, cujo poder de resolução é relativamente restrito, quando se trata de diferenciar os modos característicos de funcionamento de zonas limitadas das estruturas do S.N.

A contrastar com esta aparente inespecificidade da organização e da acção do S.R., quando estudadas com métodos macrofisiológicos, os dados anatómicos mostram que a Formação Reticular tem uma estrutura complexa e pode ser subdividida em regiões que diferem no que concerne à cito-arquitectura e às conexões tanto intrínsecas como com outras porções do S.N.

Estes dados anatómicos sugerem que as interpretações fisiológicas actuais terão que ser revistas, logo que através do uso dos métodos microfisiológicos, se obtenham dados com detalhe comparável ao obtido nos estudos anatómicos de Olzewski,^{570,571} Nauta⁵⁰⁶ e Kuyipers,⁵⁰⁵ Scheibel e Scheibel⁵⁷⁶ e A. Brodal,⁶¹ para citar apenas os mais importantes.

Os estudos microfisiológicos de Amassian e De Vito, mostram que são numerosos os neurónios do Mesencéfalo em que se registam respostas acústicas, enquanto, pelo contrário, estas respostas são raras na S.R. Bulbar, como foi verificado por von Baumgarten e Mollica,^{42,43} e Scheibel, Mollica e Moruzzi.⁵⁷⁵

São numerosos a esse nível os neurónios que reagem a estimulação dos nervos espinais, como o mostram os trabalhos de Von Baumgarten^{42,43} e Mollica e Moruzzi,⁴⁹⁶ Scheibel⁵⁷⁵ e colab., Amassian e De Vito,¹⁶ Hernandez-Péon e Hagbarth,²⁸³ Machne, Calma e Magoun.⁴³⁶

Gernandt e Thulin,²⁰⁵ observaram neurónios do S.R. cuja actividade era influenciada por estimulação vestibular, e Duensing e Schaefer, neurónios cuja actividade estava relacionada com a fase rápida e com a fase lenta do nistagmo vestibular.

Hernandez-Péon²⁸³ e Hagbarth, e Von Baumgarten, Mollica e Moruzzi observaram respostas celulares a estímulos corticais, aplicados geralmente na área motora ou próximo dela.

Respostas neuronais a estímulos aplicados no cerebello foram observadas por Gauthier, Mollica e Moruzzi e por Von Baumgarten,⁴² Mollica e Moruzzi.⁴⁹⁶

Tal como acontecia em relação aos macropotenciais, também a nível celular se observaram fenómenos de convergência. A maioria das células estudadas no S.R. reagem a estímulos de diferentes modalidades sensoriais.

Cada célula respondia a um grupo de modalidades. A composição desse grupo diferia de célula para célula, sugerindo portanto que efectivamente a organização não é difusa, e que existe considerável diferenciação de função.

Fenómenos análogos de convergência a nível celular foram descritos pelo grupo de Albe-Fessard^{164,165} em relação ao S.R. Talâmico.

Diferenças entre os efeitos corticais da actividade do SRAA e do SDPTC

Embora se admita que uma parte dos efeitos sobre o cortex cerebral devidos ao SRAA sejam em parte mediados pelo SDPTC, existem grandes diferenças entre esses dois sistemas.^{328,330,410,411}

Assim, ainda que a estimulação rápida e repetida tanto do S.R. Talâmico como do Mesencefálico provoque uma reacção de activação cortical com um EEG de tipo Beta, no caso do SDPTC a resposta tem duração mais curta que no caso do

SRAA e, ao contrário do que se passa com este segundo sistema, não excede o tempo de estimulação.⁵¹⁶

Parece portanto haver uma acção de activação de início lento e de longa duração, por assim dizer tónica, que depende do SRAA, e uma activação de início rápido e de curta duração relacionada com o SDPTC, com carácter fásico.

As respostas de Recrutamento, que são facilmente provocadas por estimulação do S.R. Talâmico, são raramente observadas quando se faz a estimulação eléctrica do S.R. Mesencefálico com a frequência de 6 a 12 est/seg.

Por outro lado, enquanto a destruição do S.R. Mesencefálico provoca um estado de coma profundo, o mesmo não acontece por destruição do S.R. Talâmico.

Verificou-se também que a estimulação do S.R. Mesencefálico com um estímulo de elevada frequência bloqueava as reacções de Recrutamento induzidas por estimulação Talâmica. A tendência actual é para interpretar a actividade do SRAA como exercendo um efeito tónico de regulação de que dependem os fenómenos de vigi- lidade, e a do SDPTC como exercendo um efeito fásico, de que dependem os fenóme- nos da atenção.

ATENÇÃO

Os estudos neurofisiológicos a que temos vindo a referir-nos, foram postos em correspondência com dados comportamentais, o que permitiu encontrar importan- tes correlações com fenómenos psicológicos.^{58,119,282,339,341,419}

Hernandez-Péon, Scherrer e Jouvét, observaram em animais em preparação crónica, com eléctrodos implantados no Núcleo Coclear, que se obtinham consisten- temente respostas evocadas por estímulos acústicos. Quando o animal (gato), era posto, depois, em presença de ratos, diminuía a amplitude do potencial acústico evoca- do por estimulação eléctrica. Quando cessava o estímulo visual, os potenciais acústi- cos voltavam a ter a amplitude inicial. Estes resultados foram interpretados como demonstrando a existência de um efeito selectivo exercido pelo S.R., tendente a fa- cilitar as respostas visuais mais importantes para o animal nessa situação, e a ini- bir as respostas acústicas.

Efeitos semelhantes foram obtidos quando o animal era sujeito a estímulos olfactivos e nociceptivos.

Por outro lado, Hubel, Henson, Rupert e Galambos, verificaram, ao estudarem respostas de células do cortex auditivo a estímulos acústicos, que cerca de 10% dos neurónios só reagiam aos estímulos acústicos quando, do ponto de vista comportamen- tal, o animal tinha uma reacção de orientação para a origem do estímulo.

Grüsser e Rabeló,³³⁹ Grüsser e Creutzfeldt,¹¹⁷ verificaram que a estimulação eléctrica do Centro Mediano exercia uma acção facilitadora em alguns casos, e ini- bidora noutros, sobre os neurónios do cortex visual primário do gato, quando este era ao mesmo tempo sujeito a estimulação visual.

Creutzfeldt, Spehlmann e Lehman,¹¹⁹ observaram reacções semelhantes em neu- rónios do cortex visual, ao fazerem a estimulação eléctrica da S.R. Mesencefálica.

Jouvét e Hernandez-Péon,³³⁹ observaram que os potenciais evocados visuais re- gistados durante o intervalo que mediava entre o Estímulo Condicionado e a Resposta Condicionada, diminuía nitidamente imediatamente antes do início da Resposta Con- dicionada, o que eles interpretam como sendo devido a um desvio da atenção.

Bremer⁵⁸ e muitos outros investigadores, observaram um aumento da amplitude dos potenciais evocados corticais, provocados por estimulação eléctrica das vias afe- rentes, quando antes do estímulo sensorial provocavam uma Reacção de Alerta no animal.

Estas reacções neurofisiológicas foram postas em relação com os dados prè- viamente existentes sobre a interacção do S.F. com as vias específicas, e interpre- tados como representando o resultado do controle, quer facilitador quer inibidor, exer- cido pelo S.F. sobre as vias aferentes específicas, a diferentes níveis do S.N.

Dada a analogia entre estas reacções e fenómenos psicológicos, esses resultados foram usados para a elaboração de uma teoria fisiológica da Atenção.

Para o esclarecimento destes mecanismos, contribuíram também outros investigadores, nomeadamente Lindsley⁴¹⁴, que observou uma melhor discriminação entre dois estímulos visuais, quando simultaneamente com a estimulação visual era também provocada uma reacção de alerta, ou as de Jung^{117,119,345} e colaboradores, que observaram elevação do limiar no fenómeno de Fusão Crítica do Flicker, quando faziam a estimulação, quer do S.R. Talâmico quer Mesencefálico.

Estes resultados foram ainda interpretados do ponto de vista da Reacção de Orientação-Investigação de Pavlov, dando lugar ao conceito de Modelo Neuronal de Sokolov a que já nos referimos.

Os fenómenos de Habituação foram discutidos em conjunto com outros problemas ligados aos mecanismos dos Reflexos Condicionados.

De um modo geral, podemos resumir os dados que apresentámos, referentes à atenção, dizendo que as experiências que mencionámos vieram provar o importante papel do S.R. na selecção e filtragem da informação aferente, que o animal recebe através das vias sensoriais específicas. O S.R. tem uma acção de regulação através do controle do "ganho" na amplitude dos sinais sensoriais aferentes. Esta interpretação é muito elementar, e os dados actuais permitem-nos propor novas interpretações, que serão expostas em relação com os modelos dos processos perceptivos.

MECANISMOS DO SONO

Não podemos deixar de fazer uma referência, ainda que breve, aos estudos electrofisiológicos sobre o sono. Iniciados pelas observações de Berger, de que havia sinais electroencefalográficos característicos do estado de sono, esses estudos foram prosseguidos a partir de 1936 por Loomis, Harvey⁴²⁰ e Hobart, e Davis^{120,121} e colaboradores, Knott, Gibbs e Henry, Dement e Kleitman,^{126,127} e numerosos outros investigadores que baseando-se nas características dos registos electroencefalográficos, distinguiram cinco fases entre o estado vigil e o sono profundo:

(1) Durante a fase A, observa-se apenas uma redução da amplitude do ritmo alfa. Coincidindo com esta fase inicial de sonolência leve, observa-se também uma redução na percentagem alfa do EEG.

(2) Na fase B, com sonolência mais profunda, reduz-se ainda mais a amplitude e a percentagem do ritmo alfa, observando-se um EEG que é caracterizado por leves oscilações de baixa amplitude da linha de Base e algumas ondas delta ocasionais.

(3) Na fase C, observam-se os "fusos de sono" que consistem na ocorrência de ondas sinusoidais com a frequência de 14 c/seg., em "salvas", intercaladas entre ondas teta e delta.

(4) Na fase D, aumenta a amplitude das ondas delta, e a sua frequência reduz-se, desaparecendo os "fusos de sono".

(5) Na fase E, de sono profundo, o EEG é caracterizado por actividade exclusivamente delta, de grande amplitude.

Do ponto de vista psicológico sabe-se que durante o sono há variação cíclica da sua profundidade,¹²⁵ ocorrendo períodos de sonho, com intervalos de 85 minutos aproximadamente.

Durante esses períodos de sonho, observam-se movimentos oculares rápidos. Interrogando os sujeitos de observação, que eram despertos quando no EEG surgiam as modificações características do sonho, encontrou-se uma correlação entre os movimentos oculares e as posições no espaço das representações visuais mais relevantes do sonho.

Estes períodos de sonho acompanhados de movimentos dos globos oculares, duram cerca de 10 a 30 minutos, e caracterizam-se do ponto de vista electroencefalográfico, por actividade de pequena amplitude semelhante à de um sono leve. Existe por outro lado semelhança entre o EEG destas fases e o EEG característico da fase

de sono paradoxal, observado por Jouvet³³⁸ na experimentação em gatos.

Em ambos os casos há movimentos oculares. No sono paradoxal há relaxação muscular mais profunda, mas H. Berger⁴⁵ também observou durante as fases de sono uma relaxação mais profunda dos músculos do pescoço.

Apesar destas analogias a questão da semelhança dos mecanismos em ambas as situações não pode ser decidida a partir apenas dos dados actuais.

Resultados "Paradoxais"

Os estudos experimentais sobre o S.R. que referimos no início, foram postos em relação com as observações sobre os fenómenos do sono no homem. Até há alguns anos era possível estabelecer uma correlação entre os estados de sono mais ou menos profundo, e as características do EEG. No entanto, em 1959, Jouvet descreveu, a partir de observações experimentais feitas em gatos, uma fase de sono que, inesperadamente, se caracterizava do ponto de vista electroencefalográfico por actividade rápida de tipo beta, análoga à que se observa no homem, em estado vigíl, quando o sujeito presta atenção a qualquer objecto, ou está alerta em relação a uma situação.

Esta actividade rápida não podia ser interpretada como pertencendo a uma fase intermédia entre o estado de sono e o estado vigíl, porque o limiar para o acordar forçado, provocado por estimulação eléctrica do Mesencéfalo, estava mais elevado, e porque, por outro lado, o registo electromiográfico mostrou uma maior relaxação muscular nos músculos da nuca durante a fase de sono paradoxal.

Além disso, as fases de sono paradoxal, não surgem senão após uma fase de sono com ondas lentas e nunca imediatamente ao adormecer. Durante esta fase reduz-se a amplitude dos potenciais evocados acústicos registados no cortex, mas especialmente dos registados no S.R.

A fase de sono paradoxal dura cerca de 10 a 15 minutos, observando-se modificações do ritmo respiratório, que é mais irregular, superficial e rápido do que no sono acompanhado de actividade cortical lenta. A frequência cardíaca reduz-se geralmente, embora raramente possa haver aceleração.

Jouvet e Michel³⁴⁰ observaram em 1958, que após ablação total do neocortex não apareciam nos registos mesodiencefálicos os ritmos lentos e os fusos de sono, enquanto pelo contrário podem ser observadas fases paradoxais.

Nas preparações com secção do Mesencéfalo, como no "Cerveau Isolé" de Bremer, observava-se uma actividade EEG lenta permanente, qualquer que fosse o estado de vigílidade do animal. Note-se que estas observações vieram trazer uma correcção aos dados obtidos por Bremer. Quando se consegue manter durante semanas ou meses um animal com preparação "Cerveau Isolé," observam-se oscilações do nível de vigílidade ao contrário do que tinha sido observado por Bremer.

Nas preparações com secção na porção posterior de Protuberância³⁷, a actividade cerebral, do ponto de vista electroencefalográfico, é rápida, e não se observam as modificações do ritmo respiratório e cardíaco e as variações do tono muscular, características da fase paradoxal.

Do facto de o desaparecimento das fases paradoxais ocorrer apenas quando a secção era feita ao nível da Protuberância, deixando os Corpos Trapezóides ligados ao Bulbo, Jouvet concluiu que era a este nível que estava localizada a zona responsável pelo seu desencadeamento.

Quando se faz a destruição da substância reticular ao nível do Núcleo Posterior da Protuberância, da parte posterior do N. Anterior da Protuberância e do Núcleo mediano superior de Bechterev, as fases paradoxais desapareciam para sempre.

Jouvet³³⁸ interpretou as fases paradoxais como sendo uma manifestação de um "Sono Rombencefálico". Haveria além disso um "Sono Telencefálico". O primeiro dependeria da Formação Reticular da Protuberância e o segundo do Neocortex.

Magnes, Moruzzi e Pompeiano⁴⁴⁴ verificaram que estimulando a S.R. Bulbar com um estímulo eléctrico repetido com baixa frequência, provocavam uma resposta cortical de "sincronização", com aparecimento de actividade electroencefalográfica

cuja frequência predominante era semelhante à de estimulação, dentro de certos limites de variação.

Como interpretação destas observações, Magnes, Moruzzi e Pompeiano, supõem que a S.R. Bulbar exerceria efeito sobre a S.R. Talâmica.

Uma outra possibilidade de explicação dos dados de Magnes, Moruzzi e Pompeiano, basear-se-ia numa hipotética organização antagonista entre a S.R. Mesencefálica e a S.R. Bulbar ou na combinação de ambas as hipóteses.

Estas explicações seriam adequadas, porque permitiriam interpretar a indução de sono por estimulação da S.R. Mesencefálica feita por Hess com estímulos de baixa frequência, e ainda o aparecimento de um EEG característico de sono, observado por Caspers e Winkel⁸⁹ em 1954.

Evarts⁵² fez o registo da actividade de neurónios do cortex visual e da S.R. em gatos em preparação crónica, com eléctrodos implantados, tendo observado que as modificações da actividade celular concomitantes com o sono ou com o estado vigíl, não podiam ser adequadamente descritos como correspondendo a fenómenos de activação ou de inibição, que atingissem a maioria dos neurónios. Tanto no Cortex Visual como na S. Reticular, o estado vigíl caracteriza-se por um aumento do valor da relação numérica entre a actividade provocada e a actividade neuronal espontânea, medida pelo número de descargas num certo intervalo. Além disso, os seus resultados sugerem que a passagem do sono ao estado vigíl se caracteriza, do ponto de vista fisiológico, por uma maior diferenciação do tipo das respostas observadas, como seria de esperar, tendo em conta a maior diversidade de fenómenos psicológicos.

Creutzfeldt e Jung¹⁶ observaram, durante o sono, em gatos, com a preparação "Encéphale Isolé", uma modificação da estrutura da actividade espontânea dos neurónios do Cortex Visual e Motor, caracterizada por uma tendência a um agrupamento de potenciais de acção em salvas, separadas por pausas mais longas do que as registadas no estado vigíl. Estas modificações apenas eram nítidas nos neurónios que tinham uma actividade espontânea média superior a 5 impulsos por segundo.

Do ponto de vista da correlação entre o EEG e as descargas neuronais, Creutzfeldt e Jung observaram que as salvas de impulsos neuronais tinham tendência a ocorrer simultaneamente com "fusos" de sono (spindles). A relação entre os dois fenómenos era no entanto inconstante.

O estado de Alerta provocado por estimulação sensorial, quando o animal apresenta um EEG característico de sono, começa por se manifestar a nível neuronal por uma diminuição da frequência da descarga, e o desaparecimento do agrupamento em salvas. A reacção de alerta surge então com uma latência superior a 300 milisegundos, caracterizando-se por um aumento da frequência da descarga.

Capítulo IV

Fenómenos de Convergência Multisensorial

INTRODUÇÃO

A existência de respostas neuronais convergentes a estímulos de diferentes modalidades sensoriais tem servido de base para diversas hipóteses sobre o modo como ocorre o processo de condicionamento. Admite-se que, devido à interacção de aferências haverá modificações das terminações sinápticas, das ramificações axonais^{380,144,289} ou das arborizações dendríticas, que constituem uma modificação temporária que permite a ocorrência de fenómenos condicionados, considerados a nível neuronal.^{372,333}

A convergência sensorial é, por outro lado, uma das características básicas do modo de funcionamento do S.R. do Tronco Cerebral.^{575,576,42,497} A convergência multisensorial permite que os neurónios deste sistema se mantenham activos, apesar da variação das configurações de estímulos, quer do Meio Externo, quer do Meio Interno e exerçam uma acção difusa sobre o cortex cerebral, de que vai depender o estado de vigi- lidade ou de sono.

Ao nível do S.R. Talâmico, as diferentes configurações de aferências multimodais poderão ter importância para a centração da atenção, orientando quer o processo de selecção e filtragem das mensagens aferentes, quer a acção facilitadora ou inibidora sobre zonas circunscritas do cortex.

Igualmente os próprios dados subjectivos da psicologia da Gestalt podem ser interpretados neste sentido, na medida em que ao nível de análise microfisiológica do sistema em que estamos interessados, as relações multimodais em conjuntos de neurónios do S.N., poderão explicar a organização de que dependem certas características globais dos fenómenos perceptivos.

É também nestes processos que se procura a explicação para o aparecimento ao Homem da faculdade da linguagem.

Nos modelos que sugerimos¹⁷⁸ para o "processo de localização e reencontro da Informação armazenada na memória" a informação multimodal desempenha também um papel primordial. O mesmo se passa em relação aos modelos de decisão de "modos de acção" ao nível do S.R., propostos por W. Killmer e McCulloch,³⁶⁴ que se harmonizam por um lado com a organização dos comportamentos instintivos, e por outro com o que se sabe sobre a organização funcional do S.R.

A observação de fenómenos idênticos no Sistema Límbico, de que depende o controle das reacções emocionais, completa a nossa demonstração de carácter geral e da importância deste modo de organização do funcionamento do S.N.

O trabalho de investigação que realizámos com R. Jung e H. Kornhuber,^{351,384,385,386} visou o esclarecimento de algumas das características destes processos. Além dos fenómenos de convergência observados no S.R. do Tronco Cerebral e no S.R. Talâmico, fenómenos idênticos foram observados por Segundo e Machne⁵⁸³ no Corpo Estriado, por Albe-Fessard, Rocha-Miranda e Oswaldo Cruz^{167,168} no Núcleo Caudado, por Green e Machne²²⁶ no Hipocampo, por Machne e Segundo⁴³⁷ nos Núcleos Amigdalinos, Borenstein, Bruner e Buser⁵² no Núcleo Lateral Posterior do Tálamo Óptico, por Buser e Imbert^{75,76} no Cortex

Somato-sensorial e Motor do gato. Buser e Bruner,^{73,74} observaram ainda respostas de convergência no cortex associativo do gato, em preparações anestesiadas pela Clorose e usando o método dos Potenciais Evocados.

Grüsser, Grüsser-Cornehls e Saur,²³⁶ e Grüsser e Grüsser-Cornehls,²³⁴ observaram no Cortex Visual respostas neuronais à convergência de aferências visuais e aferências vestibulares inespecíficas.

Na investigação que fizemos dos fenómenos de convergência multisensorial, o nosso objectivo foi determinar (1) qual era a zona de projecção vestibular primária no cortex cerebral do gato, (2) quais eram os tipos de resposta neuronal que se observavam nessa área; (3) as respostas vestibulares nas áreas sensoriais primárias e secundárias respectivamente visual, acústica e da sensibilidade somática; (4) quais as respostas acústicas e visuais nessas áreas, bem como na Área Vestibular Primária; (5) interessou-nos ainda o problema da coordenação opto-vestibular que é básico quer para a regulação de postura, dos movimentos oculares e ainda para a orientação no espaço. Do conhecimento desses mecanismos dependerá em parte o esclarecimento do problema da "constância da experiência visual".

Para realizarmos este programa de investigação, estudámos o Cortex Cerebral do gato e o Núcleo Genuculado Externo, com métodos microfisiológicos.

MATERIAL E MÉTODOS

As experiências foram realizadas em 41 gatos, utilizando a preparação "En-céphale Isolé", segundo Bremer (traqueotomia, secção da medula cervical ao nível de C₁). A operação foi feita sob anestesia com éter. Depois os animais foram mantidos em respiração artificial. Fez-se anestesia nas zonas com sensibilidade dolorosa conservada que contactavam com o sistema de fixação da cabeça, assim como nos bordos da ferida operatória. Em seguida fez-se a trepanação do crâneo de modo a permitir os registos no Cérebro e abertura através da Apófise Mastoideia, de maneira a expor a Janela Redonda.

A medida dos potenciais de acção de células do cérebro, foi feita no cortex através de microeléctrodos de vidro, cuja ponta tinha um diâmetro compreendido entre 0,5 a 3 microns, do tipo Ling-Gerard, cheios pelo método de Tasaki com um soluto 3 M de ClK.

Simultaneamente registou-se o electrocorticograma, utilizando um eléctrodo de prata cuja extremidade estava colocada em contacto directo com a pia-mater, utilizando-se como eléctrodo de referência outro eléctrodo, colocado umas vezes no seio frontal, outras posto em contacto com os músculos do pescoço do animal.

Fez-se também o registo do electronistagmograma, por meio de dois discos de prata com 5 mm de diâmetro, cujo contacto com a pele era facilitado por uma pasta condutora, colocados externamente em relação aos globos oculares, a curta distância do extremo externo das fendas palpebrais. As pálpebras foram suturadas, de maneira a obter-se não só uma estimulação visual tão homogénea quanto possível, como ainda a impedir a interferência nos resultados, de factores ligados à percepção de formas.

Depois da operação fez-se sempre um intervalo de aproximadamente duas horas, antes do início do registo. Os gatos tinham movimentos conjugados espontâneos dos globos oculares, e faziam movimentos de deglutição quando lhes era dada água.

Para obter os estímulos luminosos utilizou-se um projector com obturador electromagnético, com o qual era possível fazer uma estimulação luminosa intermitente com fases de luz e obscuridade de igual duração, cuja frequência podia variar entre 1 e 70 c/s. A intensidade da iluminação, medida à distância a que se encontrava o animal da fonte luminosa era de 500 Lux.

Como estímulo acústico foram usados "clicks", bater de palmas ou assobios. Fez-se a estimulação labiríntica, fazendo passar uma corrente galvânica, com

intensidade que variou entre 0,2 e 1,2 miliamperes, através do eléctrodo cuja extremidade foi posta em contacto com a janela redonda. A técnica usada foi semelhante à descrita por Grüsser. A corrente era mantida constante, mesmo que houvesse variações de resistência, por meio de um dispositivo construído por H. Kapp. Os eléctrodos de estimulação eram constituídos por fios de prata com uma esfera na ponta. O eléctrodo foi fixado num micromanipulador. A exactidão da sua colocação foi controlada quer visualmente quer através do resultado obtido com a estimulação.

Fez-se também estimulação labiríntica usando estímulos térmicos - água quente ou fria introduzida no canal auditivo externo.

O sistema de registo era constituído por seis canais de amplificação, dois deles com uma entrada por seguidor de cátodo, ligados a um conjunto de osciloscópios. O registo simultâneo dos seis canais foi feito por meio de uma câmara eléctrica. Todo o sistema de registo foi projectado e construído por J. F. Tönnies.

Foi registada a actividade de 474 neurónios. 77 localizados na Área vestibular, 38 na Circunvolução Lateral Anterior, 21 na parte média e anterior da Circunvolução Suprasilvica Média, 74 na Circunvolução Cruciata (área somatosensorial primária); 40 na Circunvolução Ectosilvica Média; (área acústica primária); 13 na parte superior da Circunvolução Ectosilvica Posterior; 51 na parte posterior da Circunvolução Suprasilvica Média; 103 na parte posterior da Circunvolução Lateral (área visual primária e secundária); 37 do Núcleo Geniculado Externo, que foram observados introduzindo estereotáxicamente microeléctrodos de Tungsténio com a extremidade feita electroliticamente pelo método de Hubel²⁹⁵, e isolados até à ponta com verniz. Neste grupo de registos usou-se para a colocação dos eléctrodos um aparelho estereotáxico do tipo Horsley e Clark modificado; registou-se ainda a actividade de 20 neurónios do Núcleo Geniculado Externo após ablação, por aspiração, de uma porção do cortex cerebral, até expor o ventrículo lateral.

RESULTADOS

Respostas dos Neurónios do Cortex Cerebral aos Estímulos Visuais, Acústicos e Vestibulares

A actividade dos neurónios do cortex cerebral que observámos, tinha características que permitem fazer uma classificação em dois tipos gerais - específico (Tipo I) e não específico (Tipo II).

Tipo I, Respostas específicas - Estas respostas tinham uma latência relativamente curta. Havia uma reacção inicial muito intensa. A descarga de frequência mais elevada (no caso das reacções excitatórias) ou o máximo de diminuição da actividade neuronal (no caso das reacções inibitórias), ocorriam nessa primeira parte da resposta. A reacção neuronal ia diminuindo progressivamente de intensidade no decurso da estimulação. Geralmente cessava logo que o estímulo era interrompido, ou pouco depois. Havia assim uma nítida correspondência entre a duração do estímulo e a duração da resposta, excepto no que concerne às "reacções de liberação" (rebound) que se seguiam à terminação de uma inibição.

Mesmo quando a resposta se tornava mais fraca, devido à repetição dos estímulos, a parte inicial, que corresponde à fase de maior excitação ou inibição, persistia e encontrava-se de maneira consistente.

A descarga que se seguia à terminação do estímulo, e que constituia ou uma resposta off verdadeira, ou uma "reacção de liberação" (rebound), devida a ter terminado uma inibição, também tinha a mesma característica de ser uma resposta muito intensa desde o início.

As respostas específicas podem ser subdivididas em (a) Primárias e (b) Associativas. As respostas de tipo (a) correspondem exactamente à descrição que acabamos de fazer. As do tipo (b) são caracterizadas por uma reacção inicial muito intensa, mas que ao contrário do que ocorre nas de tipo (a), cessa rapidamente. A des-

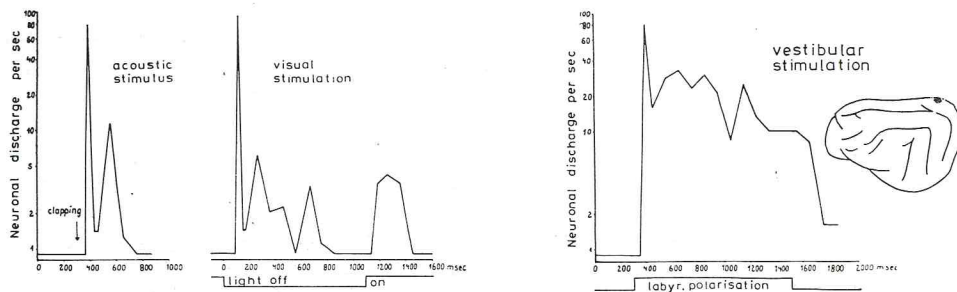
carga neuronal não se mantém a um nível elevado durante todo o tempo de estimulação. A latência das respostas é relativamente constante, tal como acontecia nas respostas de tipo (a), mas é geralmente mais longa. Estas respostas são mais modificadas por estímulos simultâneos de outras modalidades sensoriais que as de tipo (a) e tendem para uma adaptação mais rápida quando o estímulo é repetido – ou talvez, em alguns casos, para uma resposta mais intensa.

O fenómeno da adaptação mais rápida é nítido em relação às aferências vestibulares. No entanto um estímulo de maior intensidade geralmente provoca uma resposta, mesmo quando a estimulação é repetida muitas vezes.

Tipo II, Respostas não específicas – As respostas não específicas têm geralmente latências longas e variáveis. Caracterizam-se além disso por a intensidade da activação ir aumentando lentamente (recrutamento) e por se prolongarem ou até aumentarem de intensidade mesmo depois do estímulo cessar. As respostas deste tipo dependem do estado de alerta do animal – se o gato está vigil e atento, em consequência de estímulos anteriores, então, ao contrário do que se passa com os neurónios de Tipo I, a resposta neuronal não se modifica com a repetição.

Distribuição Geral das Respostas Observadas em Neurónios do Cortex Cerebral, Consideradas do Ponto de Vista Topográfico

(a) Na Área Visual Primária (Área 17), que corresponde à Circunvolução Lateral Postero-Internã, a maior parte dos neurónios tinham respostas específicas de Tipo I, à luz ou à obscuridade (respostas on e off, respectivamente). A maioria das respostas à polarização do Labirinto eram de activação e do Tipo II, isto é, não específicas. As respostas de Tipo I a aferências vestibulares eram raras. Dentre aproximadamente 30 neurónios, cujas respostas foram extensamente estudadas apenas se encontrou um "neurónio trisensorial", com reacções específicas a estímulos, quer visuais, quer acústicos ou vestibulares.

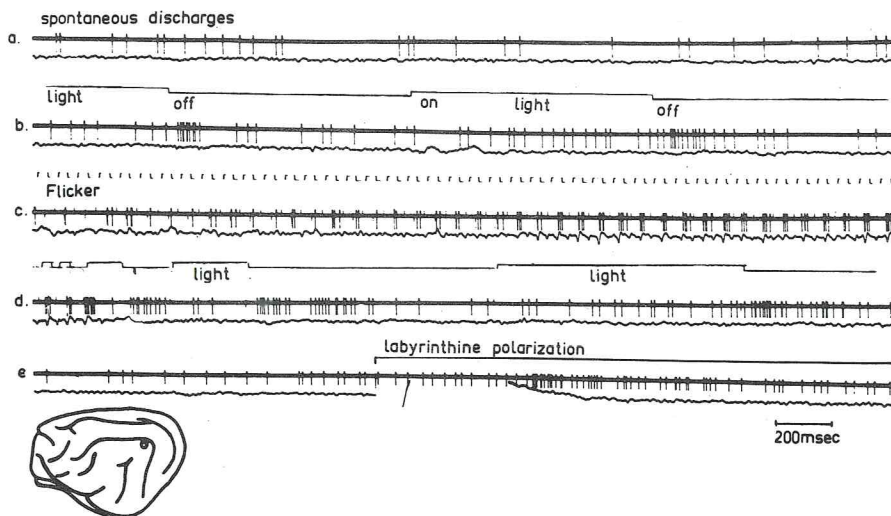


Resposta Trisensorial de um Neurónio do Cortex Visual Primário. Respostas do Tipo I à estimulação acústica, visual e vestibular (polarização anódica do labirinto homolateral) Frequência de descarga por segundo, numa escala logarítmica. Média das respostas respectivamente a 14 estímulos visuais, 7 acústicos e 6 vestibulares (Neurónio F. K. 110).

Encontraram-se poucas respostas acústicas de Tipo 2.

(b) Nas Áreas Paravisuais (Áreas 18 e 19), que correspondem à Circunvolução Suprasilvica Postero-Internã, as reacções neuronais eram muito semelhantes às encontradas na Área Visual Primária. A maior parte dos neurónios tinham respostas de Tipo I à luz ou à obscuridade. Em cerca de metade dos neurónios estudados, observaram-se respostas à polarização do Labirinto, geralmente de Tipo II. As respostas visuais ou acústicas de Tipo I eram raras. Observaram-se algumas combinações de respostas visuais de Tipo I e Tipo II.

(c) Na Área Para-auditiva, que corresponde à Circunvolução Ectosilvica Posterior as respostas neuronais eram muito semelhantes às observadas nas Áreas Paravisuais. Geralmente eram respostas visuais de Tipo I e respostas vestibulares de Tipo II. As respostas auditivas de Tipo I ou II eram raras.



Neurónio da Circunvolução Ectosilvica Posterior (parte superior) mostrando uma resposta específica à interrupção do estímulo luminoso (linhas b-d) e uma resposta inespecífica à estimulação vestibular (linha c: polarização anódica do labirinto contralateral). (Linha a: descarga espontânea). A activação que ocorre em seguida à interrupção do estímulo luminoso é fraca mas o neurónio responde mais intensamente à estimulação luminosa intermitente, com um aumento da frequência de descarga.

(d) Na Área Acústica Primária, que corresponde às Circunvoluções Ectosilvica Média e Anterior, a maior parte dos neurónios tinham respostas de Tipo I aos estímulos acústicos. Um quarto dos neurónios estudados eram também activados pela polarização do Labirinto, observando-se uma minoria de respostas de Tipo I. Não se observaram nesta área respostas visuais.

(e) Na Área Vestibular Primária, que corresponde à margem posterior da Circunvolução Suprasilvica Anterior e à Circunvolução Ectosilvica Anterior, a maior parte dos neurónios desta área tinham respostas do Tipo I quando se fazia a polarização do Labirinto. Muitos desses neurónios tinham também respostas de Tipo I quando se fazia a estimulação acústica. Foram observadas respostas de Tipo I à estimulação visual em cerca de um décimo dos neurónios que foram sujeitos a estímulos desta modalidade sensorial.

(f) Na Área Somato-sensorial Primária, que corresponde à Circunvolução Sigmóide Posterior a maioria dos neurónios estudados tinham respostas de Tipo II à polarização do Labirinto. As Respostas de Tipo I eram raras, quer no que concerne estímulos vestibulares, quer visuais ou acústicos. Em 31 neurónios sujeitos a estímulos dessas três modalidades, apenas se encontrou um neurónio trisensorial.

(g) Na Área Associativa situada na parte anterior da Circunvolução Lateral encontraram-se respostas à estimulação labiríntica em cerca de um terço dos neurónios. Dentre esses, cerca de metade respondiam com inibição inicial, que diminuía após uma estimulação repetida. Eram raras as respostas de Tipo I em relação com estímulos acústicos. Observaram-se algumas respostas visuais de Tipo II, mas nenhuma de Tipo I.

Na Área motora que corresponde à Circunvolução Sigmóide Anterior apenas se estudaram alguns neurónios.

Descrição das Respostas do Ponto de Vista da Modalidade Sensorial

Respostas aos Estímulos Visuais

Como descrevemos atrás, as pálpebras do gato eram mantidas fechadas e o estímulo luminoso passava através delas.

Conseguia-se assim evitar que a estrutura do estímulo visual tivesse importância e constituísse um parâmetro difícil de controlar. Nestas condições a retina encontrava-se no estado de adaptação à obscuridade. Em consequência disso a latência das respostas era longa.

(1) Respostas de Tipo I (Específicas)

(a) Nas Áreas 17 e 18 (Circunvolução Lateral Posterior) foram estudados 103 neurónios. As respostas eram dos tipos descritos por R. Jung, R. von Baumgarten e G. Baumgartner,³⁴⁷ por O. Creutzfeldt e H. Akimoto,¹¹ O. J. Grüsser e U. Grüsser-Cornelius,^{235,237} D. Hubel, Wiesel e outros autores, cujos resultados já descrevemos antes. O único facto novo que observámos foi o fenómeno de convergência multisensorial específica. A relação entre o número de neurónios de tipo on (B. de R. Jung) e o número de neurónios de tipo off e on-off que correspondem aos tipos D e E de R. Jung, foi de 36/49, o que não difere significativamente da relação 1/1 admitida por G. Baumgartner.

De entre os 103 neurónios, houve um com uma reacção de inibição ao estímulo visual, mas sem qualquer activação ao cessar a luz, ao contrário do que sucede com os neurónios off.

(b) Registámos a actividade de 51 neurónios na porção posterior da Circunvolução Suprasilvica Média.

Na sua maioria as respostas não se distinguem das registadas na parte posterior da Circunvolução Lateral. Observámos com mais frequência neurónios on (tipo B de R. Jung), com curta latência de activação pela luz, do que neurónios off e on-off (dos tipos D e E de R. Jung), com curta latência de activação pela obscuridade. A relação entre o número de neurónios dos tipos D e E diferia da relação para 1 ao nível da significação de 5%. As diferenças entre as latências médias das respostas dos neurónios on, off e on-off (B, D e E) não eram significativas.

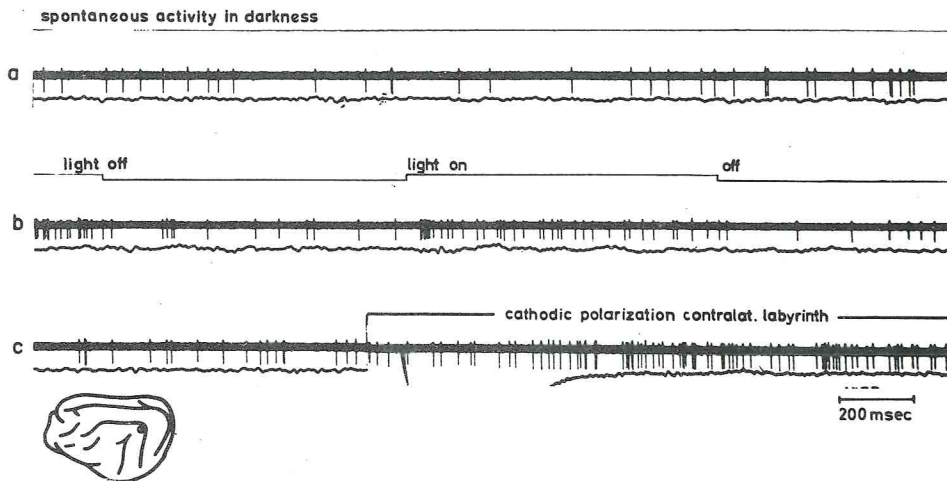
A média das latências do conjunto desses neurónios, era de 79,6 milisegundos (desvio padrão de 17,1 mseg.). Na Circunvolução Lateral Posterior a média das latências era de 68,1 mseg. (desvio padrão de 18,9 mseg.). A diferença entre as duas médias era significativa ao nível de 5%.

Embora as reacções de muitos dos neurónios fossem intensas, na maioria eram mais fracas que na Área Visual Primária. Nessas respostas falta muitas vezes a parte mantida da descarga, e a activação inicial é mais fraca, inconstante e de latência mais variável.

(c) Na parte média e anterior da Circunvolução Suprasilvica Média, e na parte superior da Circunvolução Ectosilvica Posterior, eram numerosos os neurónios que reagiam a estímulos visuais.

Analisando as respostas numa pequena amostra de neurónios dessas regiões (21 na Circunvolução Suprasilvica Média 13 na parte superior da Circunvolução Ectosilvica Posterior), verifica-se que as reacções à luz são semelhantes nessas duas áreas.

Não encontrámos qualquer resposta acústica na parte superior da Circunvolução Ectosilvica Posterior, que é geralmente considerada como correspondendo a uma Área Acústica.^{819,876}



Convergência visuo-vestibular num neurónio do cortex para-auditivo (Circunvolução Ectosilvica Posterior). O neurónio responde ao início do estímulo luminoso com uma resposta do Tipo I (linha b), à polarização do labirinto com uma resposta do Tipo II (linha c). A resposta à estimulação luminosa é idêntica à dos neurónios B (on) do cortex visual (Neurónio FK 67 - 2).

A parte anterior e média da Circunvolução Suprasilvica Média diferem da parte Posterior, pelo facto de nesta última as respostas vestibulares não serem raras.

(d) Na Área Vestibular o número de respostas visuais específicas observadas era muito menor do que nas áreas que acabámos de descrever. Além disso, as respostas eram sempre fracas, e constituídas por uma salva de descargas inicial, com um número de potenciais de acção que variava entre 1 e 7, sem que se seguisse uma manutenção da descarga.

Quando a Retina estava adaptada à obscuridade e as pálpebras estavam fechadas, as descargas tinham grande latência - 90 a 140 mseg. Durante um estado de adaptação à luz, com os olhos abertos, a sua latência era da ordem de 50 mseg.

As respostas eram geralmente de tipo on ou off puros.

(e) As respostas visuais na Área Somato-Sensorial Primária eram raras, fracas e inconstantes. Não se observaram respostas aos estímulos visuais, quer na Área Auditiva Primária, quer na Área Associativa que corresponde à parte anterior da Circunvolução Lateral.

(2) Respostas de Tipo II (não específicas)

As respostas de tipo II aos estímulos visuais, que consistiam numa activação de grau moderado e lentamente progressiva dos neurónios, foram observadas menos vezes, no conjunto das áreas estudadas, que as respostas do mesmo tipo provocadas pela polarização do Labirinto.

Observaram-se reacções de activação do Tipo II em resposta aos estímulos visuais em todas as áreas estudadas, excepto na Área Visual Primária e na Circunvolução Lateral Anterior.

Algumas das reacções de activação lentamente progressiva, que ocorreram em neurónios da Área Para-visual, que corresponde à parte posterior da Circunvolução Suprasilvica, eram provavelmente devidas a uma combinação de respostas específicas e não específicas à estimulação luminosa intermitente. Não pode todavia excluir-se que o aumento da resposta fosse determinado por factores exclusivamente retineanos, ligados a uma adaptação à luz, com a diminuição da latência que acompanha essa adaptação.

A falta de respostas visuais não específicas na Área Visual Primária, pode

ter resultado de mecanismos de oclusão causados pelo predomínio dos mecanismos visuais específicos nessa área. No que concerne à Circunvolução Lateral Anterior, a falta de respostas inespecíficas à luz foi concordante com a raridade das respostas vestibulares não específicas, e o predomínio, dentre essas respostas, das de inibição sobre as de excitação.

Respostas aos Estímulos Acústicos

Os estímulos acústicos (clicks, bater de palmas ou assobios) provocaram respostas de Tipo I em dois terços dos neurónios da Área Auditiva Primária, e também em cerca de um terço dos neurónios da Área Vestibular.

Na Área Somato-sensorial Primária observaram-se respostas fracas e inconstantes em três neurónios. Na Área Visual Primária, na Circunvolução Lateral Anterior e na Circunvolução Suprasilvica Média, observou-se um neurónio com respostas deste tipo, em cada uma delas.

As respostas de Tipo I consistiam geralmente numa breve série de potenciais de acção. Tinham uma latência de 15 a 40 mseg. na Área Auditiva e Vestibular.

Observaram-se respostas de Tipo II, não específicas, na Área Visual Primária e Para-visual, em neurónios visuais de qualquer dos tipos descritos por R. Jung. Estas respostas eram mais provocadas por estímulos mais agudos, como os assobios, do que por clicks ou bater de palmas. As reacções deste tipo eram menos frequentes no caso dos estímulos acústicos do que quando se fazia a estimulação vestibular, o que deve estar ligado à intensidade do estímulo vestibular.

Tipos de Resposta à Polarização do Labirinto

(a) Respostas de Tipo I (Específicas)

Podem ser divididas em duas classes: respostas dependentes da direcção de polarização e respostas independentes da direcção de polarização.

Respostas dependentes da direcção de polarização são aquelas que mudam sempre que se faz inversão da polarização na estimulação do Labirinto.

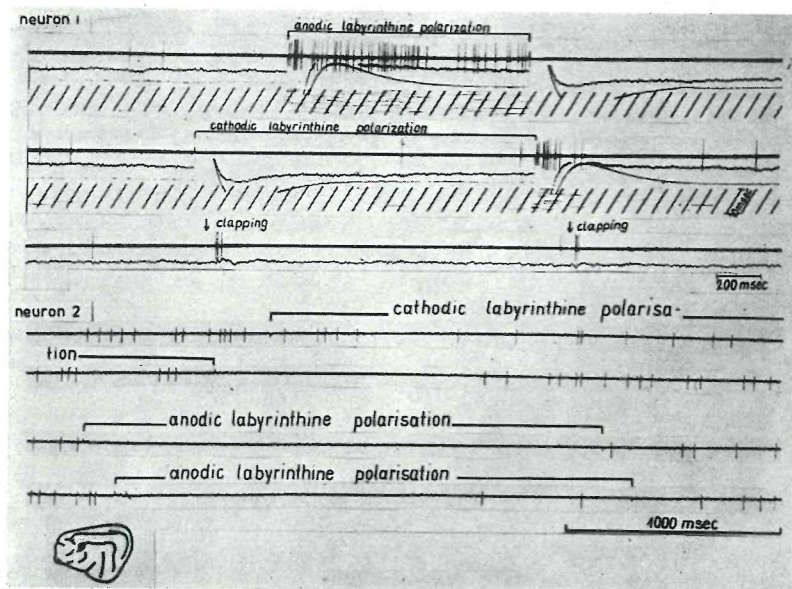
As respostas dependentes da direcção podem ser subdivididas nos seguintes tipos:

- 1) Activação dependente da direcção, muitas vezes combinada com inibição, ao fazer-se a inversão da polarização e "activação de libertação" após a inibição cessar.
- 2) Inibição dependente da direcção com ou sem uma pequena activação depois da inversão da corrente de polarização.
- 3) Activação dependente da direcção, ao fazer-se a estimulação com uma dada polaridade e pelo contrário uma resposta ao iniciar-se e ao cessar o estímulo quando se trocava a polaridade do estímulo.
As respostas independentes da direcção da polarização são classificadas nos tipos seguintes:
- 4) Activação (do tipo on-off) ao iniciar e ao cessar do estímulo em ambas as direcções de polarização.
- 5) Inibição ao iniciar e ao cessar o estímulo em ambas as direcções de polarização.
- 6) Activação prolongada e de curta latência, em ambas as direcções de polarização, sem inibição ao terminar o estímulo.

TABELA IV-1
Distribuição dos Tipos de Resposta Vestibular
no Cortex Vestibular

Tipo da Resposta	Número de Neurónios		Total
	Com R. Homolateral	Com R. Contralateral	
α	24	3	27
β	5	5	10
ϵ	0	0	0
1 ^k	2	5	7
1 ^a	5	4	9
2 ^k	0	3	3
2 ^a	2	0	2
3 ^k	0	0	0
3 ^a	2	3	5
4	2	4	6
5	5	1	6
6	1	1	2
Total	48	29	77

- 1^k - Activação por polarização catódica do Labirinto
 1^a - Activação por polarização anódica do Labirinto
 2^k - Inibição por polarização catódica do Labirinto
 2^a - Inibição por polarização anódica do Labirinto
 3^k - Activação durante a polarização catódica; resposta on-off à polarização anódica
 3^a - Activação durante a polarização anódica; resposta on-off à polarização catódica



Respostas específicas de 2 neurónios à polarização labiríntica, no cortex vestibular do gato. Neurónio 1: Activação dependente da direcção (Tipo 1). Activação anódica e inibição catódica de curta latência (5 msec.) e reacção imediata, seguindo-se à polarização do labirinto contralateral. Inibição depois da terminação da polarização anódica. A polarização catódica do mesmo labirinto provoca inibição neuronal, mas a activação segue-se à terminação do estímulo (linha média). Este neurónio responde a estímulos acústicos breves (bater de palmas) com activações súbitas. (Neurónio FK 88-1). Neurónio 2: Inibição anódica dependente da direcção (Tipo II), de um neurónio do cortex vestibular. Este neurónio é inibido durante a polarização anódica e depois da terminação da polarização catódica do labirinto homolateral. A inibição de impulsos inicia-se com uma breve latência de alguns msec. (Neurónio FK-176-2).

Relação entre o Tipo da Resposta e a Intensidade do Estímulo

Os tipos de resposta que acabamos de descrever, são constantes em cada neurónio para uma dada intensidade de corrente. Podem porém variar, ao modificar-se a intensidade do estímulo. Por exemplo, ao usar-se um estímulo mais forte, as respostas do tipo (1), (2) e (3), podem transformar-se em respostas do tipo (4). Pelo contrário, quando se usa uma corrente mais fraca (de 0,05 a 0,2 miliampères) encontram-se mais respostas dependentes de direcção do que ao usar correntes mais intensas (até 1 miliampere aproximadamente).

Só se observou uma mudança na direcção de activação, ao aumentar a intensidade do estímulo, em um neurónio da Área Vestibular.

Nesse neurónio observou-se activação com estímulos anódicos e inibição com os estímulos catódicos, ao empregarem-se estímulos liminares, enquanto que com estímulos fortes houve, pelo contrário, activação em resposta aos estímulos catódicos, e inibição em resposta aos anódicos.

A tabela onde se descrevem os resultados, foi feita usando os tipos de resposta dos neurónios aos estímulos fracos.

Entre as respostas independentes da direcção de polarização de tipo (4), havia algumas que mostravam diferenças da latência e da intensidade das respostas ao iniciar e ao terminar o estímulo.

Respostas de Tipo Ia (específicas associativas)

Estes tipos de resposta à estimulação galvânica do labirinto são semelhantes aos tipos de resposta específica, nos aspectos de terem uma reacção inicial de activação intensa e uma latência constante. A maior parte dessas respostas depende da direcção de polarização. Pelo contrário a sua latência é igualmente da ordem de 25 a 150 msec., portanto mais longa que a das respostas primárias.

Por vezes falta a inibição dependente da direcção de polarização, que seria de esperar que ocorresse ao fazer a inversão da corrente de estimulação. Pelo contrário, às respostas seguia-se por vezes um período de activação inespecífica mais longo, principalmente na Área Somato-sensorial Primária, e menos frequentemente na Área Auditiva Primária. Na parte anterior da Circunvolução Suprasilvica Média (adjacente à Área Vestibular Primária), não se podia fazer distinção entre respostas primárias e associativas. Na Área Vestibular Primária encontraram-se respostas vestibulares de tipo associativo, com longa latência e outras diferenças em relação às respostas primárias. Em muitos neurónios da Área Somato-sensorial Primária, as respostas tendiam a ter características de activação não específica de longa duração. Nesses casos havia dúvida sobre se as respostas deviam ser classificadas como específicas associativas ou não específicas. A decisão foi tomada tendo em conta as características das reacções e estímulos fracos.

Na Área Visual Primária e na Área Para-Visual a maior parte das respostas eram não específicas.

Em relação aos neurónios da Área Auditiva, põe-se o problema de excluir a possibilidade de a parte auditiva do ouvido interno ter sido também estimulada ao fazer-se a polarização. Neste sentido, cerca de metade das respostas na Área Auditiva Primária provocadas por estimulação eléctrica, eram constituídas por uma salva de potenciais de acção de curta duração e de curta latência, tal como acontecia ao fazer-se estimulação acústica. Não pode assim excluir-se que alguns neurónios acústicos tenham sido estimulados por meio da via acústica, e não da vestibular.

(b) Respostas Vestibulares de Tipo II (não específicas)

Podem distinguir-se dois tipos principais de resposta à polarização do labirinto: Respostas β e ϵ . (Tabela IV-2).

As respostas β são caracterizadas por (1) terem uma fase de activação de longa duração, (2) a sua latência ser muito longa - a latência média do cortex visual foi de 444 milisegundos, (3) começarem por uma activação lentamente progressiva,

(4) não terem inibição ao cessar o estímulo ou ao inverter-se o sentido da corrente de polarização, (5) a activação não depender do sentido da corrente de estimulação.

Durante uma estimulação de longa duração, pode verificar-se uma activação inicial moderadamente intensa, e de novo activação ao cessar-se o estímulo (Tipo δ de Grüsser).

Não obtivemos dados que confirmassem a existência dos três tipos diferentes de resposta que O. J. Grüsser, U. Grüsser-Cornehls e O. J. Grüsser, U. Grüsser-Cornehls e G. Saur, encontraram na maior parte dos neurónios da Área Visual Primária.

Aparentemente, a partir dos nossos dados, as diferenças não são suficientemente típicas para que possam ser interpretadas como mais do que variedades das respostas não-específicas de activação.

As respostas ϵ são caracterizadas por (1) inibição independente do sentido da polarização, (2) latência variável compreendida entre 70 e mais de 300 milisegundos, (3) a reacção da inibição continuar após o estímulo ter cessado, ou ocorrer de novo após o termo do estímulo, (4) a inibição desaparecer gradualmente depois de estímulos repetidos, o que contrasta com a consistência da inibição vestibular específica.

Grüsser designou de Tipo α a ausência de resposta neuronal à estimulação galvânica do Labirinto. O mesmo fenómeno de ausência de resposta, mas em relação aos estímulos visuais, foi observado por Jung em neurónios do cortex visual.

Em alguns casos, no entanto, a falta de resposta poderá ter sido devida a uma situação experimental anormal, em que o cortex teria estado sujeito a hipoxia, ou haveria edema cerebral, ou arrefecimento do cortex. Um outro factor poderá ter sido a saída em quantidade significativa do soluto 3M de ClK dos microeléctrodos, por a sua ponta se ter quebrado durante as manipulações.

TABELA IV-2

ÁREA	Nº. de neurónios	Resposta inespecífica à estimulação vestibular em % dos neurónios investigados	
		Activação β	Inibição ϵ
Vestibular	77	13	0
Circunvolução Suprasilvíca Média (zona anterior + zona média)	21	20	0
Circunvolução Post-Cruciana da Área Somática Primária (S.I.)	74	54	1
Circunvolução Lateral Anterior	38	12	29
Área Auditiva da Circunvolução Ectosilvíca Média (A.I.)	40	38	3
Circunvolução Ectosilvíca Posterior E. p. (Zona anterior)	13	73	0
Circunvolução Suprasilvíca Média (zona posterior)	51	79	0
Áreas 17 + 19	103	74	1
Núcleo Geniculado Externo (estereotáxico)	37	45	0
Núcleo Geniculado Externo (casos em que houve destruição parcial do cortex por aspiração)	20	0	0
Total	474		

Distribuição das Respostas Inespecíficas

Encontraram-se reacções de activação inespecífica de Tipo β à polarização intensa do Labirinto com correntes até 1,2 miliampéres, em todas as áreas estudadas no cortex, e ainda no Núcleo Geniculado Externo, quer com estímulos homolaterais, quer contralaterais.

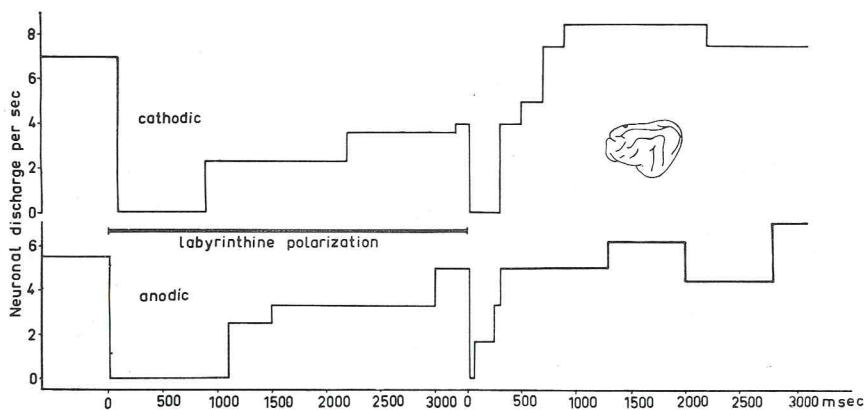
As respostas de activação inespecífica ocorrem frequentemente quer na Área Visual Primária, quer nas Áreas Para-Visuais, incluindo a parte superior da Circunvolução Ectosilvica Posterior, e ainda na Área Somato-Sensorial Primária. No Núcleo Genuculado Externo, eram também observadas frequentemente quando o registo se fazia estereotaxicamente, passando com o eléctrodo através do cérebro, sem se fazer ablação de qualquer zona. Quando as reacções dos neurónios do Núcleo Genuculado Externo foram estudadas após aspiração de parte do cérebro, de maneira a permitir o acesso ao Núcleo Genuculado Externo através do Ventrículo Lateral, seguindo a técnica de Grüsser, não se observaram respostas de activação em nenhum dos 20 neurónios de que se fez o registo.

Este facto sugere uma dependência das respostas observadas no Núcleo Genuculado Externo em relação ao cortex.

No que concerne à incidência, as respostas de Tipo β foram observadas menos vezes nas Áreas em que se registou maior número de respostas vestibulares específicas, nomeadamente na Circunvolução Suprasilvica Anterior e na Circunvolução Lateral Anterior, correspondendo esta última a uma Área de associação entre a Área Visual e a Área Somato-Sensorial.

As respostas de Tipo ϵ de inibição inespecífica, foram observadas numerosas vezes na Circunvolução Lateral Anterior.

Este tipo de inibição foi encontrado raras vezes nas Áreas Somato-Sensorial Primária e Áreas Acústicas, e menos ainda na Área Visual Primária.



Inibição vestibular dum neurónio no cortex associativo (Circunvolução Lateral Anterior), com o início e terminação da polarização labiríntica, tanto na direcção anódica como na catódica, representado como frequência de descarga neuronal por segundo. A análise inclui apenas os dois primeiros estímulos em qualquer das direcções da corrente, porque esta inibição foi desaparecendo gradualmente à medida que se repetia a estimulação) (Neurónio FK 135).

Percentagem dos Tipos de Resposta Vestibular na Area Vestibular e sua Dependencia do Lado de Estimulação e do Sentido da Corrente

Na Área Vestibular Primária observaram-se respostas específicas à polarização do Labirinto em 40 dos 77 neurónios estudados.

75% das Respostas Específicas eram de Tipo I, com curta latência, entre 5 e 30 milissegundos e com as características já descritas anteriormente. 26% eram de Tipo Ia, isto é, específicas associativas, com latências mais longas, entre 20 e 105 milissegundos e outras características também já descritas. A projecção vestibular cortical é bilaçeral. O tipo α de comportamento neuronal, embora tenha ocorrido também noutras experiências, pode surgir numa proporção exagerada na Tabela (IV-3), devido a terem sido tomados em conta dados obtidos numa experiência em que tinha ocorrido uma fase de hipóxia.

O número reduzido de respostas ϵ não foi provavelmente devido a acidente uma vez que este tipo de respostas igualmente não foi encontrado em outras áreas

do cortex embora ocorra muito frequentemente na Circunvolução Lateral Anterior.

O Tipo 3^k de Grüsser nunca foi observado. Reacções de Tipo 2^k de Grüsser só foram encontradas quando se fez estimulação contralateral, e de tipo 2^a só quando se fez estimulação homolateral.

Considerados em conjunto, os neurónios da Área Vestibular não mostraram qualquer relação significativa entre o lado estimulado, e a dependência das respostas em relação ao sentido de estimulação (Tabela IV-3).

A soma do número de neurónios activados pela estimulação catódica, com o número de neurónios inibidos pela estimulação anódica, que devem ser considerados em conjunto, se se tomarem em conta os resultados obtidos em registos feitos no Núcleo de Deiters, em resposta a estímulos tanto homolaterais como contralaterais, não corresponde ao que haveria a esperar, se houvesse uma relação entre o sentido da activação e o lado do Labirinto que foi estimulado.

TABELA IV-3

Soma dos tipos da resposta	Lado da Estimulação	
	Homolateral	Contralateral
1 ^k + 3 ^k + 2 ^a	4	5
1 ^a + 3 ^a + 2 ^k	7	10

De entre 40 neurónios com reacções vestibulares específicas, 26 tinham reacções dependentes do sentido da estimulação (Tipos I, II e III). O número de respostas dependentes do sentido de estimulação do labirinto homolateral foi de 11, e no caso de estimulação contralateral de 15. Se não se tomar em conta o facto de as respostas de Tipo α serem mais numerosas quando se fazia estimulação homolateral, a diferença de 11 para 15 não parece, por si só, significativa.

Podemos pois admitir que ambos os hemisférios cerebrais serão igualmente informados sobre a direcção de aceleração em ambos os labirintos.

Distribuição e Características das Respostas Específicas à Polarização do Labirinto

Para ter uma síntese dos resultados consideram-se em conjunto a tabela IV-4 e a figura seguinte.

De maneira concordante com os resultados numa experiência de localização da Área Receptora Vestibular Primária, e em que foram feitos os registos usando microeléctrodos, as respostas específicas ocorrem muito mais frequentemente na Circunvolução Suprasíllica Anterior. Nestas zonas as latências são menores - a partir de 5 milisegundos, e as respostas são mais intensas e sujeitas a muito menor variação do que nas outras áreas.

Encontram-se também frequentemente respostas nas zonas vizinhas da Área Vestibular Primária, nomeadamente nas partes anterior e média da Circunvolução Suprasíllica Média. Estas zonas distinguem-se da Área Vestibular própria dita, por as respostas visuais serem muito mais frequentes nelas.

Na Área Somato-Sensorial Primária, que corresponde à Circunvolução Sigmóide Posterior, todas as respostas específicas à polarização do labirinto são de tipo associativo. Nunca se observou inibição que deveria ocorrer ao cessar o estímulo ou ao inverter-se a polaridade do estímulo. A maioria das respostas tinham uma resposta um pouco mais longa, entre 30 e 150 milisegundos. Apenas dois neurónios responderam com uma pequena latência da ordem dos 13 milisegundos.

Todas as respostas classificadas como específicas tinham um início súbito, latência aproximadamente constante, e na maior parte dependiam do sentido de pola-

rização. Observou-se activação à polarização catódica em 1 neurónio, à polarização anódica em 4 neurónios, activação durante a estimulação anódica e reacção ao início e cessação dos estímulos catódicos em 1 neurónio, activação tanto à polarização anódica como catódica, mas com predomínio constante da reacção anódica, em dois casos. Dado que a maioria dos neurónios desta área tinham reacções inespecíficas de activação, a falta de reacções de inibição pode ter sido devida à sobreposição de mecanismos inespecíficos aos específicos.

Os efeitos da polarização do labirinto sobre os neurónios da Área Somática, embora em princípio se possa pôr o problema de uma estimulação simultânea do Nervo Intermédio, devem ser devidos, na maior parte, ao sistema vestibular, dado que se observaram também reacções neuronais nesta área quando se fez a estimulação calórica do Labirinto.

Na Circunvolução Lateral Anterior, a que corresponde uma área associativa situada entre as áreas Visual e Somato-Sensorial, só se encontrou uma única resposta específica, dependente do sentido de polarização, que tinha grande latência, da ordem dos 250 milisegundos. Nesta área predominam as reacções de Tipo ϵ , de inibição inespecífica independente do sentido de polarização, com latências compreendidas entre 70 e 300 milisegundos.

Na Área Auditiva Primária, situada na Circunvolução Ectosilvica Média, as respostas à estimulação galvânica do labirinto são geralmente, ou inespecíficas ou têm as características das respostas específicas associativas. As respostas constituídas por uma pequena salva de potenciais de acção, com uma latência de 10 milisegundos aproximadamente, poderão depender nos casos em que a estimulação galvânica foi mais forte, de uma origem Coclear.

Só se encontrou um único neurónio, uma resposta de tipo específico, semelhante às observadas na Área Vestibular.

Nas áreas Visual e Para-Visual do cérebro, incluindo a parte posterior da Circunvolução Suprasilvica Média e a parte superior da Circunvolução Ectosilvica Posterior, assim como no Núcleo Geniculado Externo, em 224 neurónios só se encontrou um com respostas específicas à estimulação galvânica do Labirinto. Tratava-se de um neurónio trisensorial da Circunvolução Lateral, portanto na área 17 ou 18. Tinha reacções de activação com uma latência de 70 milisegundos, depois da estimulação anódica, e com uma reacção ao início e ao termo dos estímulos catódicos. Este neurónio reagia de maneira específica aos estímulos visuais e acústicos. Na Área Para-Visual, na parte posterior da Circunvolução Suprasilvica Média, encontraram-se dois neurónios com respostas difíceis de classificar, mas que foram incluídas entre as não específicas. A maioria dos neurónios visuais tinham reacções de activação não específica aos estímulos vestibulares.

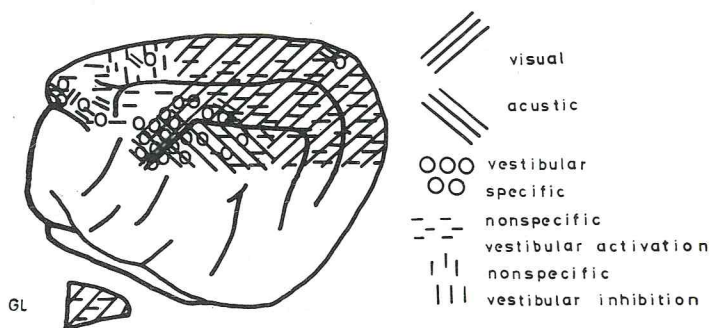


TABELA IV-4

ÁREA	Nº. de neurónios	Respostas específicas em percentagem	
		Vestibular	Visual
Vestibular	77	52	9
Circunvolução Suprasilvica Média (zona anterior + interna)	21	20	43
Cortex Somato-Sensorial SI	74	12	2
Circunvolução Lateral (zona anterior)	38	3	0
Cortex Auditivo AI	40	18	0
Circunvolução Ectosilvica Posterior	13	0	58
Circunvolução Suprasilvica Interna (zona posterior)	51	0	79
Áreas 17 + 18	103	1	84
Núcleo Geniculado Externo (c/estereotaxia)	37	0	90
Núcleo Geniculado Externo (cérebro c/ técnica de aspiração)	20	0	95
	475		

Relação entre as Respostas dos Neurónios do Cortex Cerebral aos Estímulos Acústicos e as Respostas à Estimulação Galvânica do Labirinto

Dos 40 neurónios que foram estudados no Cortex Auditivo Primário, 60% tinham reacções específicas aos estímulos acústicos. Na sua maioria estes neurónios não reagiam à estimulação galvânica. Alguns reagiam de maneira inespecífica. Quatro neurónios tiveram respostas de curta latência. Três reagiram apenas a estímulos intensos, com pequenas salvas de potenciais de acção, semelhantes às respostas aos estímulos acústicos breves. Dois dos neurónios que reagiam com activação aos estímulos acústicos eram inibidos pela polarização labiríntica.

Na Área Vestibular, três dos neurónios estudados reagiam aos estímulos acústicos e não tinham qualquer resposta à estimulação galvânica.

No entanto a maioria dos neurónios que tinham reacções específicas à polarização labiríntica não eram influenciados pelos estímulos acústicos.

Em conclusão: a maioria das respostas corticais específicas à estimulação galvânica do labirinto não eram de origem Coclear. Todavia, as respostas de curta duração a estímulos intensos, observadas em neurónios de Área Auditiva, dependerão possivelmente da estimulação Coclear.

Estimulação Térmica do Labirinto

Foram estudadas as reacções à estimulação calórica em 17 neurónios, 12 na Área Vestibular e 5 na Área Somato-Sensorial Primária.

Encontraram-se os seguintes tipos de resposta: (a) activação pela estimulação com estímulos de temperatura elevada, e inibição aos estímulos de temperatura baixa (b) inibição pelos estímulos de temperatura elevada, activação aos estímulos de temperatura baixa (c) activação aos estímulos tanto de temperatura elevada como de temperatura baixa (d) inibição aos estímulos tanto de temperatura elevada como de temperatura baixa, (e) ausência de resposta.

Estes tipos de resposta só em parte são concordantes com as respostas à estimulação galvânica.

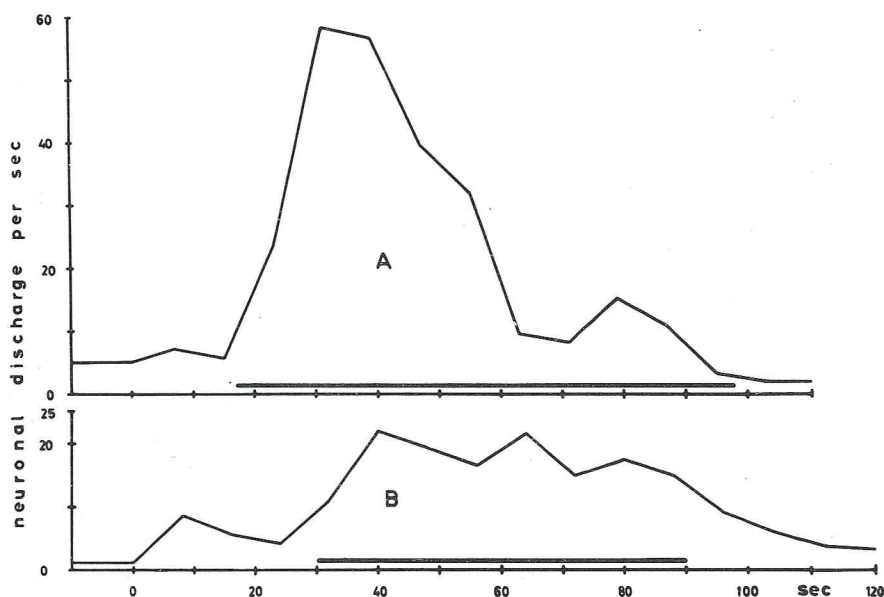
Efectivamente encontraram-se reacções de activação a estímulos de temperatura elevada e inibição a estímulos de temperatura baixa, apenas em neurónios com reacções dependentes do sentido da estimulação galvânica, e que eram activados pela polarização catódica, o que é concordante com os resultados de R. de Vito, A. Brusa e A. Arduini, e com os de B. Gernandt em experiências de registo no Nervo Vestibular e no Núcleo de Deiters. Além disso encontrou-se inibição, tanto a estímulos de temperatura elevada como a estímulos de temperatura baixa, num neurónio que era inibido pela estimulação galvânica independentemente do sentido de polarização, e em

dois outros neurónios que não reagem à estimulação galvânica.

Dois neurónios que tinham reacções dependentes do sentido de polarização, reagiram com activação tanto aos estímulos calóricos de temperatura elevada, como aos de temperatura baixa. Este facto pode estar dependente de terem sido diferentes, nos dois tipos de estimulação, as estruturas do labirinto que foram efectivamente estimuladas.

Encontrou-se de maneira consistente uma relação entre a resposta dos neurónios do cortex cerebral à estimulação calórica e o nistagmo provocado por essa estimulação.

As reacções à estimulação calórica vêm dar mais uma prova da existência de reacções neuronais no cortex cerebral à estimulação vestibular, em condições mais próximas das normais do que na estimulação galvânica. Embora possa ter havido reacções devidas a estímulos da sensibilidade somática ou a estímulos acústicos, especialmente durante a fase de introdução de água no Canal Auditivo Externo, isso não pode servir de explicação para as reacções que são ainda mais evidentes após cessar a introdução de água.



A figura mostra o curso normal das respostas em dois neurónios. No início da estimulação há uma curta fase de activação ou de inibição que pode depender da estimulação somática e provavelmente também da estimulação acústica. Depois de uma latência de 15 a 35 segundos iniciam-se as fases rápidas do nistagmo e ao mesmo tempo, ou 1 ou 2 segundos antes, inicia-se a reacção do neurónio do cortex, que se for registada mantendo fechados os olhos do gato aumenta de maneira lentamente progressiva, atinge o máximo 30 a 70 segundos depois do início da estimulação calórica e decresce depois também lentamente, cessando aproximadamente ao mesmo tempo que o nistagmo, cerca de 80 a 140 segundos depois do início da estimulação calórica. A variação da frequência de descarga era maior nos neurónios da Área Vestibular que nos da Área Somato-Sensorial.

Se se mantinham abertos os olhos do gato, passando a haver estímulo visual modificava-se a resposta nos neurónios da Área Vestibular que também reagiam à luz. Nestes neurónios observava-se uma activação intensa, que começava de maneira súbita com o início dos movimentos provocados nos globos oculares. A intensidade

da resposta neuronal subsequente variava consideravelmente, dependendo da frequência do nistagmo calórico. As respostas deste tipo eram determinadas quer pelas aferências vestibulares, quer pelas visuais. Estas últimas dependem dos movimentos dos globos oculares.

Nestas circunstâncias, observou-se um agrupamento das descargas com o ritmo do nistagmo. Este agrupamento das descargas foi observado em duas experiências em que os olhos eram mantidos fechados.

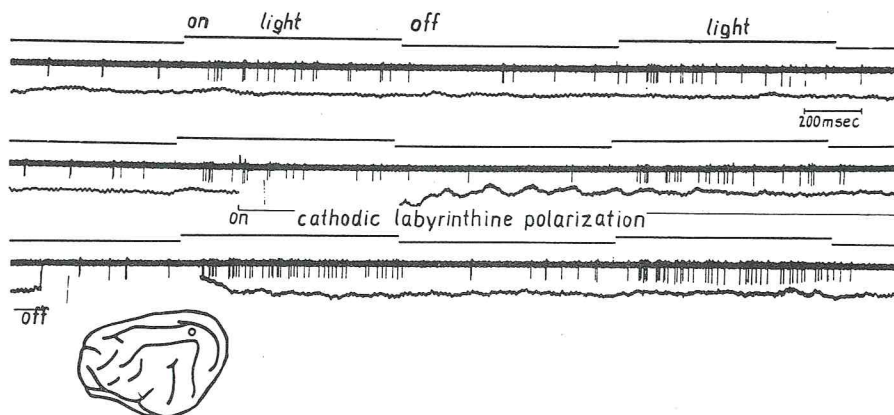
Actividade dos Neurónios Corticais e Nistagmo Vestibular

Quando os olhos do gato eram mantidos abertos, observou-se um agrupamento das descargas em salvas que se repetiam com o ritmo do nistagmo e simultaneamente com ele. Este agrupamento das descargas foi aparentemente determinado pela estimulação visual.

Com os olhos fechados, observou-se em dois neurónios da Área Para-Visual um agrupamento das descargas com o ritmo do nistagmo. Embora a participação de estimulação visual não possa ser completamente excluída, mesmo neste caso, é provável que este agrupamento das descargas esteja dependente ou de aferências com origem nos músculos extrínsecos dos globos oculares, ou mesmo em aferências vestibulares.

Convergência e Interacção de Aferências Visuais Vestibulares e Acústicas em Neurónios do Cortex Cerebral

As respostas de activação ou de inibição a aferências de uma das modalidades sensoriais estudadas, eram acompanhadas, em grande número de neurónios, de respostas a estímulos de outras modalidades.



Convergência não específica dos aferentes visuais e vestibulares num neurónio da zona posterior da Circunvolução Suprasilvica Interna. O neurónio responde a luz com uma resposta de tipo B (activação ao iniciar e inibição ao terminar o estímulo). Depois da estimulação vestibular (polarização catódica do labirinto homolateral) regista-se fraca activação da descarga espontânea; contudo há um aumento considerável duradouro da intensidade das respostas à luz.

O tipo de convergência mais frequentemente observado, consistiu geralmente em respostas específicas a estímulos de uma das modalidades, e inespecíficas a estímulos de uma ou das duas modalidades restantes (convergência de Tipo II). A convergência de Tipo I, ou específica, foi observada sob a forma de convergência bi-sensorial, a maior parte das vezes em neurónios das Áreas Acústica ou Vestibular, em resposta a estímulos acústicos e vestibulares.

Respostas específicas tri-sensoriais eram relativamente raras.

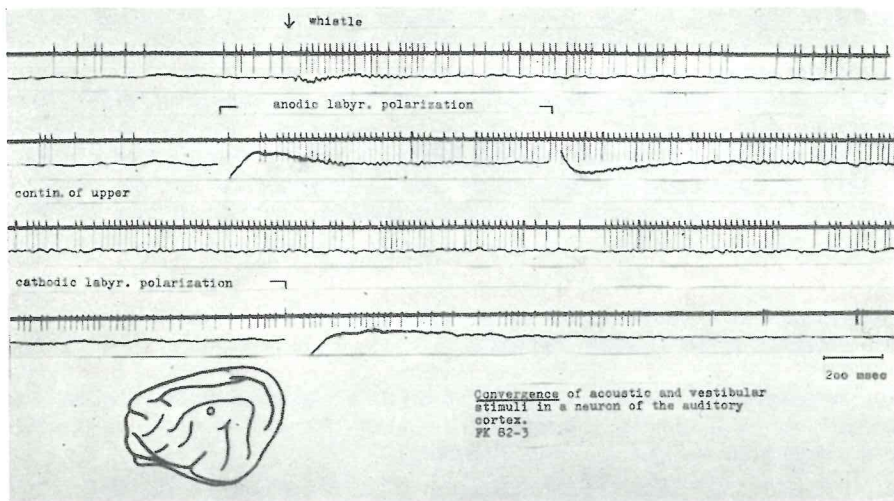
Reacções Bi-sensoriais de Tipo I

Observaram-se fenómenos de convergência específica bi-sensorial, visuo-acústica, visuo-vestibular e vestibulo-acústica, em neurónios das áreas estudadas.

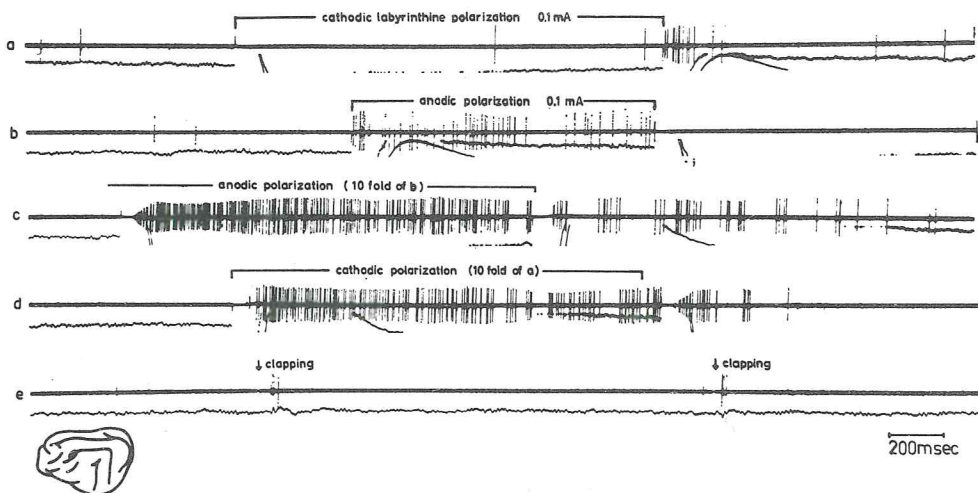
A convergência vestibulo-acústica foi a mais frequente, e observada a maior parte das vezes nas Áreas Primárias de ambas as modalidades sensoriais.

Nas outras áreas os fenómenos de convergência bi-sensorial foram observados num pequeno número de neurónios.

Não se pôs à prova se havia neurónios que só respondessem a estímulos simultâneos de duas ou mais modalidades sensoriais.



Neurónio do cortex auditivo do gato, respondendo especificamente aos estímulos acústicos, e à polarização contro-labiríntica anódica ou catódica, com activação não específica duradoura. A seguir às três primeiras estimulações labirínticas a activação continua muitos segundos para além do fim do estímulo. A activação termina somente 1, 2 seg. depois do 4º estímulo, cuja terminação está representada pelo traço inferior (Neurónio FK 82-3).



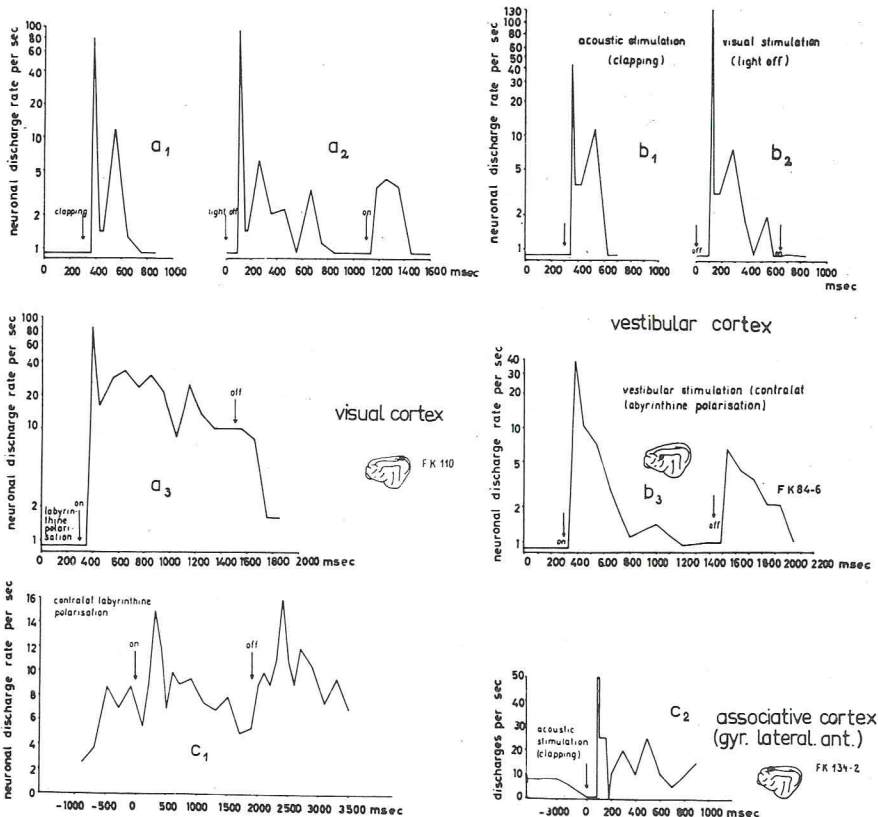
Respostas vestibulares e acústicas tipo I, de um neurónio do cortex vestibular. Alteração da direcção das respostas específicas (a, b) para respostas on-off fortes, em ambas as direcções, por meio da intensidade de estimulação anormal (c, d). (a) Inibição dependente da direcção, por polarização labiríntica contralateral, catódica e de fraca intensidade (a cerca de 0,1 mA). (b) Activação de curta latência, durante a polarização anódica do mesmo labirinto. (c) A inibição catódica desapareceu e foi transformada em activação de curta latência, por estímulos de uma corrente cerca de 10 vezes mais intensa. (d) Com esta maior intensidade de estímulo, o período silencioso que se segue à polarização ao nível do limiar anódico, transformou-se em activação. (e) Representa o tipo I de resposta acústica deste neurónio (Neurónio FK 88-1).

Nos neurónios em que foram registadas as respostas a estímulos coincidentes de duas modalidades diferentes, as reacções foram semelhantes às observadas em relação à convergência de tipo não específico. Em alguns casos não se observou qualquer influência de um estímulo sobre o outro.

Reacções Tri-sensoriais de Tipo I

Fenómenos de convergência específica tri-sensorial, visuo-vestíbulo-acústica, ocorreram principalmente na área vestibular. Nesta observaram-se quatro neurónios com este tipo de reacção, isto é, 9% dos neurónios que foram submetidos aos estímulos das três modalidades sensoriais. O outro neurónio com este tipo de convergência foi observado na Circunvolução Lateral, portanto na área 17 ou na 18.

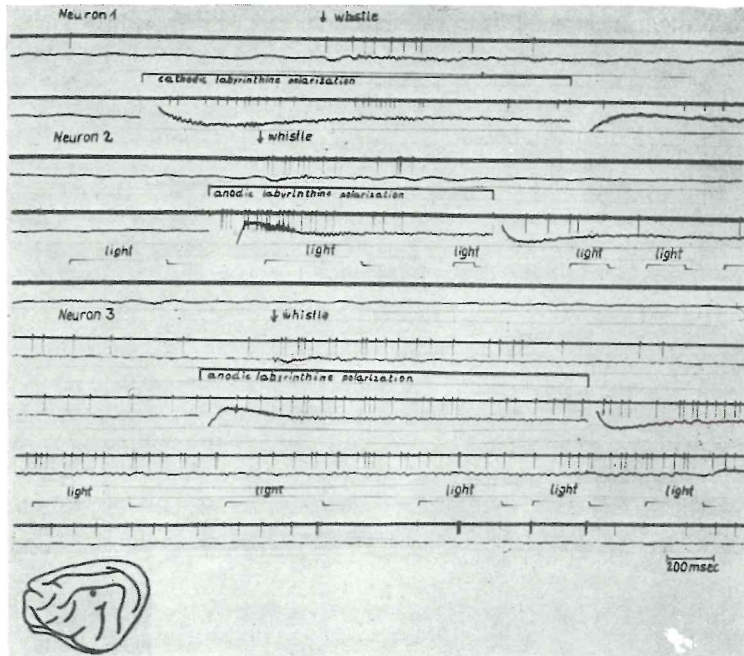
Todos os neurónios com convergência tri-sensorial tinham reduzida actividade espontânea, e respondiam aos estímulos visuais e auditivos com uma salva de potenciais de acção de curta duração. À estimulação vestibular, pelo contrário, a resposta era mantida e dependente do sentido de estimulação, em todos eles.



Convergência multisensorial em 3 neurónios do cortex. a e b: convergência trisen-sorial específica. Respostas calculadas em frequência por segundo. a: neurónio do cortex visual, mostrando uma resposta "on-off" a um estímulo visual fraco (a₂), activação representada por salva constante em seguida a um estímulo acústico breve (a₁), e a reacção "on" em seguida à polarização labiríntica (a₃). b: neurónio de uma zona associativa (Circunvolução Lateral Anterior) mostrando uma resposta acústica específica (c₂) e uma resposta labiríntica não específica (c₁), sem resposta à luz.

Convergência não Específica

Na maioria dos neurónios das Áreas Acústica Visual e Para-visual observaram-se fenómenos de convergência de respostas específicas, visuais ou acústicas, com efeitos não específicos de várias origens.



Três neurónios isolados do cortex auditivo do gato, com respostas auditivas específicas. Seguindo-se à polarização labiríntica, os neurónios 1 e 3 mostram apenas activação inespecífica, e o neurónio 2 uma resposta de tipo associativo. Não há resposta para a luz. (As descargas de salvas durante a estimulação visual na linha inferior do neurónio 3 não dependem deste estímulo; são provavelmente causadas pela inibição neuronal que se segue a uma estimulação vestibular eficaz). O Macro electro-corticograma da região do cortex que investigámos encontra-se representado abaixo dos microregistos das descargas neuronais (Neurónios FK 81-1, 81-3, 82-4).

A interacção intermodal não específica foi igualmente do mesmo tipo em relação a todas as aferências: as respostas específicas eram facilitadas pelas não específicas desde que um estado de actividade máxima não tivesse sido atingido antes da ocorrência da acção não específica.

Por este motivo a fase inicial da activação máxima nas respostas específicas ou não era modificada ou apenas levemente. As fases subsequentes de resposta mostravam geralmente, pelo contrário, um efeito de facilitação devido à convergência.

Os fenómenos de inibição específica prevaleciam sempre sobre os de activação inespecífica, pelo menos na fase inicial da resposta. Por esse motivo os tipos de resposta específica permaneciam com as mesmas características, mesmo quando havia convergência inespecífica.

Por vezes a duração da inibição específica era encurtada devido à influência de aferências inespecíficas, e respostas off (à cessação do estímulo com inibição ao iniciar-se o estímulo) podiam transformar-se em respostas on-off (ao iniciar-se e ao terminar o estímulo). Estas reacções não significavam, no entanto, uma mudança no tipo fundamental de respostas, porque as reacções on-off mantinham a característica de surgirem com uma curta latência após o estímulo cessar, o que significa que continuavam a ser respostas de centro off.

DISCUSSÃO

No estudo que descrevemos, propusemo-nos investigar os problemas da organização cerebral no que respeita às áreas de projecção primária e associativa do cérebro, em resposta às aferências visuais, acústicas e vestibulares.

Procurámos definir os tipos de reacção neuronal a estas diferentes espécies de estímulos e alguns fenómenos de coordenação, especialmente do ponto de vista da distinção entre mecanismos específicos e não específicos.

Os nossos resultados mostram que são muito mais complexas do que se supunha, as relações entre as áreas primárias e associativas. Nestas últimas obtivemos muitas vezes respostas absolutamente idênticas às que encontrámos nas designadas habitualmente como específicas.

Nas áreas de projecção primária, fomos encontrar respostas a estímulos de outras modalidades sensoriais. Pudemos distinguir diversos tipos de reacção neuronal a vários estímulos, suficientemente característicos para permitirem uma diferenciação de diversas categorias funcionais e que, além disso, nos deixam antever conclusões anatómicas extremamente interessantes para quando for possível identificar com exactidão, do ponto de vista morfológico, os neurónios cujos potenciais de acção registamos, e a sua distribuição estatística nas diferentes camadas das várias áreas.

Do ponto de vista microfisiológico, as reacções de convergência multisensorial foram inicialmente encontradas em neurónios da Substância Reticular, tendo servido até para caracterizar o modo peculiar de funcionamento dessa estrutura do S.N.C.

Amassian¹⁶ veio mais tarde a encontrar reacções de convergência a aferências somáticas e acústicas, em neurónios da parte anterior da Circunvolução Lateral, em animais submetidos a anestesia por Cloralose. Landgren^{393,394} encontrou reacções de convergência a aferências tácteis, térmicas e gustativas da língua, em neurónios da Área Somato-Sensorial.

No que concerne às respostas neuronais a estímulos visuais, não deve causar surpresa o facto de terem sido encontradas numa tão grande extensão do cortex cerebral. Por um lado, os estudos de Potenciais Evocados de Marshall, Talbot e Ades⁴⁵⁰ tinham sido realizados em zonas do cortex que ultrapassavam certamente a Área Visual Primária, cuja localização exacta só recentemente foi esclarecida por Otsuka e Hassler⁵²⁵. Por outro, mais recentemente, os estudos com Potenciais Evocados de Buser e Borenstein³ e de Buser, Borenstein e Bruner⁷⁴ feitos na maior parte em animais anestesiados por Cloralose, e já dirigidos para o esclarecimento de problemas análogos aos que motivaram os nossos trabalhos, conduziram a resultados idênticos, embora com as limitações devidas ao método usado.

Igualmente os trabalhos de Doty^{136,137} mostraram que se a Área Visual Primária for extirpada no gato, pouco depois do nascimento, não se observam quaisquer consequências do ponto de vista comportamental. Se a extirpação for mais extensa, e incluir a Circunvolução Suprassilvica, os efeitos serão, pelo contrário, nítidos.²⁴⁷ As aferências visuais para a Circunvolução Suprassilvica serão em parte independentes da Área Estriada, e de acordo com Vastola⁶⁴⁰, terão origem no próprio Núcleo Geniculado Externo e nos núcleos associativos talâmicos, como supõem Buser e colaboradores. Buser, Borenstein e Bruner verificaram que o Potencial Evocado visual ocorre na Circunvolução Suprassilvica, mesmo após destruição da S.R. Mesencefálica. Pode portanto concluir-se que a via será Talâmica.

No que concerne à convergência de aferências acústicas e vestibulares, os nossos resultados vêm trazer uma confirmação aos obtidos por Mickle e Ades^{468,469} com Potenciais Evocados por aferências vestibulares, somáticas e acústicas.

No que concerne aos nossos resultados, a maior parte dos fenómenos de convergência que observámos no cortex diziam respeito a reacções visuais de Tipo I e reacções vestibulares de Tipo II. A convergência a aferências visuais e vestibulares com respostas de Tipo I a ambas as modalidades sensoriais, praticamente só foi encontrada em neurónios do Cortex Vestibular. No Cortex Visual Primário, observámos um neurónio com reacções de Tipo I a aferências visuais, acústicas e vestibulares.

No que concerne ao cortex vestibular, os neurónios com reacções de Tipo I a aferências visuais e vestibulares, tinham também reacções de Tipo I às aferências acústicas. Por outro lado, as suas respostas à polarização do Labirinto dependiam do sentido de polarização.

A área do cortex em que se observaram reacções neuronais de Tipo I à estimulação vestibular, coincide com a Área Vestibular Primária identificada por Walzl e Mountcastle e por Mickle e Ades através do uso de técnicas de Potenciais Evocados.

Walzl e Mountcastle⁶⁵² obtiveram dados que sugeriam uma projecção vestibular predominantemente sobre o Hemisfério cerebral do lado oposto ao da estimulação. Mickle e Ades chegaram a conclusões idênticas. Anderson e Gernandt⁶ observaram, pelo contrário, respostas quer homolaterais, quer contralaterais, embora a amplitude das respostas homolaterais seja menor. Kempinski³⁶¹ foi o único autor que não observou diferenças entre as respostas homolaterais e contralaterais.

Segundo as nossas observações, a área de projecção vestibular no cortex cerebral do gato está situada na margem posterior da Circunvolução Suprasilvica anterior, e na margem anterior da Circunvolução Ectosilvica anterior.

Obtivemos respostas tanto a estímulos homolaterais como contralaterais.

Os nossos resultados parecem-nos claros, quanto ao facto da existência de diferentes tipos bem definidos de respostas neuronais no cortex, a estímulos vestibulares.

Além disso, parecem-nos confirmar, de maneira decisiva, os trabalhos de Gerebetzoff, de Gernandt^{206,207} e de Kempinski³⁶², que demonstraram a existência no gato, no cão e no macaco de uma projecção labiríntica directa no cortex cerebral, porque:

(1) a latência muito curta das respostas neuronais faz admitir a existência de uma via com reduzido número de sinapses interpostas;

(2) há uma clara diferenciação das respostas em diferentes tipos bem definidos e constantes em muitos neurónios e

(3) esses tipos bem definidos de respostas neuronais correspondem exactamente aos que foram encontrados a outros níveis de integração do Sistema Nervoso — quer no nervo vestibular^{204,429,430} quer nos núcleos vestibulares^{4,147,581}.

Falta ainda observar deste ponto de vista o Cerebello e o possível núcleo de projecção no Tálamo Óptico.

Foi demonstrado por neurotomia que a resposta à estimulação vestibular não deixa de se verificar após secção do feixe longitudinal posterior. A existência de um cerebello intacto não é também indispensável.

De acordo com Wallenberg, existiria uma via vestibulo-cortical com trajecto próximo do das fibras acústicas.

A actividade de neurónios da substância reticular do tronco cerebral em relação com o nistagmo, foi estudada por Duensing e Schaefer^{140,141,142,143}, que observaram descargas neuronais sem correlação directa com o nistagmo.

Estes autores classificaram esses neurónios em dois tipos: neurónios com correlação exacta e neurónios com correlação com o nistagmo um pouco "laxa".

Em ambos os grupos existiam neurónios cujas descargas tinham relação com a fase rápida e outros com a fase lenta do nistagmo. Os neurónios activados durante a fase rápida mostram durante a fase lenta, ou um bloqueio total, ou uma diminuição da frequência das descargas. Muitas unidades têm um máximo de frequência da sua descarga no início da fase rápida do nistagmo.

Dos neurónios activados durante a fase lenta, há um grupo com inibição completa durante a fase rápida; noutros há apenas diminuição da frequência das descargas. O tipo da descarga é variável: muitos neurónios mantêm um nível igual de actividade, desde o início até ao fim desta fase, noutros há um aumento de frequência para o fim da fase lenta, e ainda num terceiro grupo o máximo de frequência coincide com o início da fase lenta.

Portanto, verificamos que no nistagmo vestibular há dois tipos de neurónios com inibição recíproca, dentro das variedades de cada tipo. Encontraram-se unida-

Capítulo V

Modelos Cibernéticos de Processos Psicofisiológicos e Psicológicos

INTRODUÇÃO

Os resultados que vamos apresentar cabem dentro de um ramo de desenvolvimento da Cibernética, designado de Teoria dos Autómatos. Em 1943 os trabalhos de W. S. McCulloch e W. Pitts⁴⁶⁵ ("A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity"), de A. Rosenblueth, N. Wiener e J. Bigelow⁵⁶⁹ ("Behaviour Purpose and Teleology") e o livro de Kenneth Craik¹¹⁵ ("The nature of Explanation"), deram início a uma nova disciplina científica que veio a ser designada de Cibernética, por N. Wiener⁶⁶¹ em 1948.

A Cibernética segundo Wiener, "é a ciência do Controle e da Comunicação no Animal e na Máquina".

Como precursor no desenvolvimento dos conceitos que nessa altura foram organizados num corpo de conhecimento, deve considerar-se entre outros J. C. Maxwell⁴⁵⁷ que no final do século XIX tratou no seu trabalho "On Governors" a teoria da Reaferentação (Feedback), tendo conseguido resolver alguns casos não lineares. A partir de então, o princípio da reaferentação continuou a merecer a atenção dos investigadores e foi redescoberto por especialistas de diferentes disciplinas - Black⁴⁹, dos Bell Telephone Laboratories, usou a reaferentação negativa, para estabilizar um dispositivo electrónico de repetição; o psicanalista Larry Kubie³⁸⁸, que estudava neurologia no Hospital de Queen Square em Londres, publicou em 1930, o primeiro trabalho acerca de redes de neurónios que formam laços (loops) fechados. Kubie admitia (1) a existência destes laços fechados no Sistema Nervoso (2) que seriam formados quer por neurónios isolados, quer por conjuntos de neurónios, tendo procurado explicar os mecanismos do pensamento, através destes agrupamentos celulares. Ranson⁵⁵⁶ publicou no mesmo ano e independentemente de Kubie, uma investigação também sobre as redes de neurónios com laços fechados. Três anos mais tarde, Lorente de Nó^{423, 425} apresentou os primeiros dados experimentais que pareciam confirmar a existência de mecanismos dependentes desses laços no Sistema Nervoso - uma estimulação eléctrica única no nervo vestibular, iria produzir um ciclo regenerativo de sinais de que dependeria a ocorrência do Nistagmo.

Noutra direcção de investigação, aparentemente sem relação com a primeira, Hartley²⁵⁷, havia definido em 1928, o conceito de Informação, que depois veio a ser estudado e reformulado por C. Shannon⁵⁹⁰ em 1948. A partir dos estudos de Wiener, de Ashby e muitos outros, tornou-se claro que para o estudo dos processos de regulação, o comportamento dos sistemas dependia essencialmente do processamento de informação.

Por outro lado, Hilbert e Ackerman²⁸⁷ haviam progredido na formalização da lógica, nomeadamente no Cálculo das Proposições, com a publicação dos "Grundzüge der Theoretischen Logik" em 1927.

Em 1930 e 1931, Gödel^{242, 243} havia produzido os seus famosos teoremas sobre a imperfectibilidade dos sistemas lógicos, e em 1936 Turing⁶³⁴, introduzira a noção de

computabilidade e mostrara que ela era equivalente à de decidibilidade de Church. As Máquinas de Turing foram os precursores conceptuais dos computadores modernos que vieram a surgir alguns anos depois.

De maneira intimamente relacionada com o funcionamento efectivo desses computadores, surgiram, em 1943, os trabalhos que mencionámos. Note-se que W. S. McCulloch era um Professor de Psiquiatria e Neurofisiologista. A. Rosenblueth era Fisiologista na Universidade de Harvard, discípulo de Cannon. N. Wiener era um matemático com treino em Biologia, e que havia feito investigação fisiológica em colaboração com A. Rosenblueth; W. Pitts e V. Bigelow eram matemáticos, e K. Craik era psicólogo. Deve ainda mencionar-se o artigo publicado em 1938, em que Shannon fazia uso das Álgebras de Boole, para a interpretação do funcionamento de certos dispositivos electrónicos.

Os resultados que vamos descrever pertencem à linha de investigação iniciada por McCulloch e Pitts. Tomados no seu aspecto matemático cabem na "Teoria dos Autómatos". A nossa motivação vem no entanto dos domínios da Neurofisiologia, Psicofisiologia e Psiquiatria.

No artigo mencionado, McCulloch e Pitts criaram um cálculo de "Expressões Proposicionais Temporais" e inventaram uma representação gráfica por "Neurónios Formais". Tanto o cálculo, como a representação gráfica, foram usados na construção de redes que dadas as especificações adoptadas, realizavam expressões desse cálculo. Para os fisiologistas e os psicólogos, a representação por redes tinha o grande interesse, de em certa medida, corresponder aos dados da Neurofisiologia, ainda que tomados a um certo nível de abstracção e de simplificação deliberada. Apesar da distância entre as expressões do cálculo e a situação real, tal como ela surge na investigação experimental, as descobertas de McCulloch e Pitts, tiveram papel revolucionador, na teorização dos dados sobre a actividade do Sistema Nervoso.

Dito de maneira imprecisa, ficava demonstrado que se fosse possível descrever um processo neurofisiológico ou psicofisiológico de maneira exaustiva e não ambígua, isso implicava que se podia também construir uma rede de neurónios que representasse esse processo nos estadios do seu funcionamento. De maneira exacta, na última parte do seu artigo, McCulloch e Pitts mostravam que as redes com laços fechados eram capazes de computar os números que fossem computáveis por Máquinas de Turing com fita finita.

As dúvidas que se levantaram por parte dos especialistas do S.N., veio juntar-se o facto de os autores mencionados, não terem sido capazes de demonstrar mais do que três teoremas, no que concerne às redes com laços fechados. Os sucessivos tratamentos matemáticos devidos a Kleene³⁶⁵, a I. M. Copi¹¹², C. C. Elgot e Wright e a M. Arbib^{22,23}, não trouxeram qualquer progresso no que se refere a esse problema. Por outro lado, não foi feita qualquer tentativa sistemática para exprimir os dados dessas ciências, na nova linguagem oferecida por esse cálculo.

Em relação ao comportamento das redes com laços fechados, as contribuições mais importantes que se seguiram, após um longo intervalo, foram as de Sch-nabel⁵⁷⁷, R. Moreno-Diaz^{485,486}, M. Minsky⁴⁸¹, S. Papert e, principalmente, as de E. Caianiello^{81,82}. Eram no entanto soluções para problemas parciais, com excepção de um trabalho de R. Moreno-Diaz que veio a surgir depois dos nossos estudos com McCulloch.

O tratamento dos problemas ligados às redes com laços fechados que apresentaremos, correspondem a mais um passo dado no sentido de conseguir um desenvolvimento completo da teoria. Uma parte desses resultados foram obtidos em colaboração com W. S. McCulloch, nomeadamente (1) a identificação entre neurónios com interacção de aferentes e dispositivos compostos por "Shift-Registos"⁴⁶⁶ e operadores lógicos de funcionamento instantâneo, (2) um processo de linearização completamente geral para as redes Booleanas não lineares^{179,180,181} e, por último, (3) um novo algoritmo de síntese de redes¹⁷⁹ com algumas aplicações aos mecanismos da memória.

Em estudos realizados no Centro de Estudos Egas Moniz, recorreremos à programação bivalente, usando equações pseudo-Booleanas²¹³ (com variáveis cujos argumentos só podem assumir os valores 0 e 1 e coeficientes pertencentes ao Corpo dos Reais).

Verificámos que esta representação era adequada, tanto para as funções ló-

des com activação durante a fase rápida e outras durante a fase lenta, para a mesma direcção do nistagmo, de ambos os lados da formação reticular.

Deve-se recordar a hipótese de Lorente de Nó,^{321,422,423,424} segundo a qual impulsos originados nos núcleos vestibulares iriam activar, de maneira contínua e progressiva, um grupo de neurónios do Sistema Reticular de cuja actividade dependeria a fase lenta do nistagmo, e que, por outro lado, teria na sua dependência os núcleos onde se encontram agrupados os neurónios que controlam os músculos extrínsecos dos globos oculares. Os primeiros impulsos provocariam a descarga de apenas poucas células nervosas. Os impulsos seguintes encontrariam as células já excitadas subliminarmente, e poderiam provocar descargas num maior número de células.

A actividade destes neurónios aumentaria ainda mais, até que seria atingido o limiar dos neurónios responsáveis pela inervação dos músculos extrínsecos dos globos oculares que entrariam em acção.

Por fim, uma parte destas células através das suas colaterais, por um mecanismo de Reaferentação (feedback) bloquearia os grupos de células cuja actividade tinha vindo a aumentar, e através de outras colaterais activaria as células que controlam a fase rápida. Também então o estado excitatório aumentaria segundo o mecanismo descrito e, finalmente, estas células bloquear-se-iam a si próprias. Então desapareceria a inibição dos neurónios responsáveis pela fase lenta e recomeçaria o ciclo que descrevemos.

No cortex cerebral encontrámos em apenas três neurónios, descargas em relação com o nistagmo.

Os dois neurónios da região Para-Acústica com inibição durante a fase rápida do nistagmo, levantam-nos problemas para os quais apenas sugerimos uma resposta. Pode admitir-se que essa inibição e a activação subsequente, estariam relacionadas com as aferências proprioceptivas dos músculos extrínsecos implicados nos movimentos do nistagmo.

No ponto de vista psicofisiológico, a ritmicidade da descarga destes neurónios corticais poderá ter um sentido diferente, dizendo respeito à inibição de certas das características da mensagem sensorial durante a fase rápida do nistagmo, em que os movimentos rápidos dos globos oculares são incompatíveis com uma visão nítida, embora neste caso seja difícil de explicar por que eram tão raras as unidades deste tipo e não surgiram também noutras áreas. No que respeita à extensão das áreas com respostas visuais e acústicas, elas excedem em muito o que se poderia pensar a partir dos estudos clássicos de potenciais evocados.

O estudo electronistagmográfico do nistagmo ocular^{383,633} provocado quer por estimulação rotatória quer visual, mostrou que existem ao nível do Tronco Cerebral mecanismos de integração vestibular e optocinética. Nomeadamente Teng, Shanzer e Bender,⁶¹⁵ em 1958, e Shanzer e Bender⁵⁹¹ em 1959, demonstraram que lesões circunscritas na S.R. do Tronco Cerebral abolem o nistagmo optocinético homolateral, e o nistagmo vestibular com fase rápida no sentido do lado lesado, e que estas alterações são acompanhadas de perturbações dos mecanismos posturais e do movimento.^{268,269}

Os dados que apresentámos da existência de neurónios com reacções vestibulares específicas no cortex cerebral, estão de acordo com a experiência subjectiva de rotação que caracteriza certos tipos de vertigem e que provavelmente dependerá de mecanismos corticais. Igualmente fornecemos uma interpretação para os dados de Young, que observou o desaparecimento do nistagmo provocado por estimulação vestibular, antes de terminar a sensação de desequilíbrio. Esta dissociação das duas respostas, pode ser uma consequência da dependência do nistagmo em relação à Substância Reticular do Tronco Cerebral, enquanto que a experiência subjectiva depende do Cortex Cerebral.

Por outro lado, é da observação corrente que a orientação da cabeça e do corpo, sujeitos à acção de gravidade, depende em parte, e pode ser regulada por mecanismos que podem ter expressão a nível consciente.^{374,375}

Além disso, experiências com post-imagens visuais, no escuro,²⁸ mostram que após a cessação súbita de um estímulo rotatório, do ponto de vista subjectivo, o campo visual parece rodar em harmonia com a percepção vestibular de rotação.

Experiências sobre a percepção de linhas luminosas verticais observadas no

escuro, mostram que quando a cabeça e o corpo são sujeitos a desvios angulares em relação a essa linha, apenas se observam ligeiros desvios nos juízos quanto à verticalidade da linha, o que sugere mecanismos de compensação, quer de origem somestésica quer vestibular.

Observou-se também uma ligeira sobrecompensação da inclinação do corpo quando o desvio é ligeiro; pelo contrário, quando é grande o desvio do corpo, há um desvio subjectivo na mesma direcção.

Bender e Jung,⁴⁴ Teuber e Mishkin,⁶¹⁸ observaram perturbações da interacção entre os mecanismos visuais e posturais, em doentes com lesões orgânicas cerebrais que atingiam o cortex frontal ou parietal. Na maior parte dos casos a alteração era no sentido de um exagero dos mecanismos de sobrecompensação de Müller.⁵⁰² Estas alterações surgiam apenas em relação à integração visuopostural, e não se observavam nos testes de integração visuovisual ou exclusivamente postural.

Além da convergência visuo-vestibular,^{134,139,611} também a coordenação com aferências de sensibilidade somática é importante para a orientação no espaço. Se a coordenação visuo-somática é alterada por meio da imersão do corpo na água, ocorre também uma perturbação de orientação em relação à vertical.⁶⁴

A coordenação entre as aferências acústicas e somato-sensoriais e vestibulares, é também importante para a localização do som no espaço.

A coordenação visuo-acústica é particularmente importante para a localização de objectos no espaço e para a percepção conjunta de aferências visuais e acústicas originadas em certas situações de transacção com o meio ambiente.

A possibilidade de fazer uma discriminação³³⁵ exacta da localização no espaço é perturbada no gato por lesões bilaterais do Cortex Acústico.⁵⁰⁷

Além deste fenómeno, também as dismorfopsias provocadas por estimulação vestibular podem ser interpretadas com base na coordenação visuo-vestibular a nível cortical.¹³⁰ Um dos problemas clássicos da percepção do espaço, o da "Constância da experiência visual" (Raumkonstanz der Sehdinge), pode ser explicado em parte com base na integração visual com aferências vestibulares e proprioceptivas dos músculos extrínsecos dos globos oculares⁵⁵ ou dos músculos do pescoço ou ainda do corpo.

Em relação aos músculos extrínsecos dos globos oculares, duas observações sugerem que esse mecanismo pode efectivamente ter importância. Observámos em dois neurónios do cortex associativo uma nítida correlação entre a resposta visual e as fases rápida e lenta do nistagmo.

Estas modificações da resposta visual podem ser devidas a reafereção de retorno originada nos músculos extrínsecos dos globos oculares. Experiências de Bech-y-Rita e Murata, mostram que no gato o S.N.C. é informado dos movimentos desses músculos. O facto de que a reafereção não permite um grande poder de resolução na discriminação da posição dos globos oculares, como foi demonstrado por Helmholtz, não invalida a nossa interpretação, porque esses mecanismos não têm necessariamente que ter uma expressão a nível consciente.

Além destes, outros factores poderão também ter importância, como por exemplo a informação fornecida aos centros de processamento visual pelos centros de que depende o comando dos movimentos dos globos oculares (Reafferenz Prinzip de von Holst e Mittelstaedt²⁹²).

Do ponto de vista comportamental, os dados de observação mostram que a combinação de estímulo de diferentes modalidades sensoriais produz respostas motoras com mais facilidade do que estímulos de uma única modalidade sensorial. A situação de convergência é a situação corrente na natureza, e só com grande artifício, como por exemplo nas experiências de reflexos condicionados, se consegue restringir a variedade dos estímulos de diferentes modalidades, que actuam sobre os animais ou subjectos de experiência.

Além da redundância dos dados dentro de uma modalidade, existe uma "redundância multi-modal", que assegura uma detecção dos estímulos, a sua correcta interpretação, e aumenta a probabilidade de uma resposta em relação com a situação.

A influência multi-modal, tanto pode ser directa como mediada pelo S.R. do Tronco Cerebral ou pelo S.R. Talâmico, como provam os dados sobre a selecção e filtragem da informação aferente, que referimos quando tratámos dos mecanismos fi-

siológicos da atenção, da habituação, ou dos fenómenos de inibição e desinibição externa em relação aos reflexos condicionados.

A integração entre diferentes modalidades sensoriais, em que os tempos de latência que os vários estímulos levam a atingir os centros nervosos são diferentes, põe numerosos problemas de coordenação temporal, ainda por resolver, e em relação aos quais propusemos uma interpretação em modelo num dos capítulos em que nos referiremos aos problemas levantados pelas redes neuronais.

Também os mecanismos de convergência sugerem a existência de "memórias associativas", que podem assegurar o reencontro da informação armazenada no cérebro, referente a experiências passadas.

De uma maneira geral, os fenómenos de convergência podem ser interpretados como uma expressão a nível fisiológico dos mecanismos associativos e relacionais, que são invocados correntemente como explicação para muitos fenómenos da experiência subjectiva.

Quando se trata porém de correlacionar os dados fisiológicos com dados psicológicos, no sentido de conseguir uma síntese, é patente a inadequação das teorias psicológicas correntes. É necessária uma reformulação prévia em bases exactas, e em que os mecanismos neuronais sejam efectivamente usados na construção dos conceitos psicológicos.

Por outro lado, e não menos importante, é necessário olhar para os fenómenos neuronais não apenas como fenómenos que devem ser descritos somente a nível biofísico.

É necessário encontrar um ponto de vista em que o que se passa nos neurónios seja considerado como uma representação da transacção entre o organismo e o meio, isto é, como sinais usados num sistema de comunicação e de processamento de Informação.

Os sinais observados nas células nervosas são então considerados como uma representação codificada de alguns aspectos dessa transacção entre o organismo e o meio. As operações neuronais são interpretadas simultaneamente (1) como processos biológicos e (2) como operações lógicas efectuadas sobre essas mensagens codificadas.

É nossa convicção que para resolver os problemas levantados pelos processos psicológicos, é necessário não só uma acumulação de dados experimentais, como o desenvolvimento de novos conceitos para descrever a experiência vivencial mais adequadamente que com os conceitos propostos pelas teorias actualmente existentes.

Mostraremos, no prosseguimento da investigação dos modelos cibernéticos das funções psíquicas como, após aperfeiçoamentos sucessivos, em seguida a um esforço inicial de simplificação, surgem de novo hipóteses susceptíveis de serem infirmadas ou verificadas a nível experimental. Essas hipóteses são em princípio adequadas para a descrição dos mecanismos nervosos, tanto ao nível biológico como ao nível lógico de descrição.

As respostas de convergência multi-sensorial que observámos no cortex, vêm juntar-se aos dados já existentes quanto à convergência a outros níveis e permitem corrigir hipóteses sobre os mecanismos dos Reflexos Condicionados, como a formulada por Gastaut, em que os processos são referidos ao S.R., em parte com base no argumento de que será a esse nível que ocorre a convergência de diferentes modalidades sensoriais. A verdade é que os nossos resultados mostram que em conjunto com os mecanismos de selecção e filtragem, que constituem uma "atenção" dirigida para o exterior, os fenómenos de convergência poderão ser os responsáveis por um mecanismo de selecção das memórias que vão ser reactivadas, comparável a uma "atenção dirigida para o interior" - para o espaço de representação interna do mundo exterior, com base nas configurações de estímulos originados no Meio Externo e Interno. Dessas configurações resulta uma pré-selecção dos conteúdos da memória e das zonas do cérebro que entram em acção numa dada situação de transacção entre o organismo e o meio.

Por último, a representação múltipla das aferências de uma dada modalidade sensorial pode estar na base dos fenómenos de vicariação, subsequentes a destruições de zonas do cérebro, ou explicar por que razão certas lesões são "mudas" do ponto de vista da expressão sintomática.

gicas lineares (threshold logics) de McCulloch e Pitts, como para os neurónios com interacção de aferentes.

Podemos ainda exprimir de maneira rigorosa e usando expressões relativamente simples, certos tipos de relações não lineares entre os processos de excitação e inibição na membrana neuronal, que haviam sido propostos por J. Lettvin.⁴⁰³ Servimo-nos para isso dos métodos de solução de equações e desigualdades não lineares pseudo-Booleanas, desenvolvidos por Ivanescu e Rudeanu.

A íntima relação entre os métodos de Programação dinâmica e os usados na solução dessas equações e desigualdades, permite considerar a representação de certos comportamentos adaptativos, como correspondendo a uma sucessão de decisões, tomadas de acordo com os critérios de optimização, definidos por essa programação em relação à situação.

Por último, o facto de as redes usadas na construção de modelos serem geralmente síncronas (ao contrário do que se passa com as redes do Sistema Nervoso) não é necessariamente um obstáculo difícil de resolver.¹⁷⁵ O uso de "atrasos" (delays), em número adequado e a sua disposição apropriada, para o que existe já um método proposto por Unger^{636,637} e outros autores, pode assegurar o funcionamento que se pretende da rede, independentemente dos assincronismos. Um outro método usado correntemente na realização de redes assíncronas, baseia-se numa estratégia eficaz de especificação da matriz de transição de estados.

Outro ponto de vista possível, em relação aos processos neurofisiológicos, é o de admitir que os neurónios só são capazes de fazer a discriminação de intervalos de tempo até um certo poder de resolução, e que o mesmo acontece em relação às quantidades de excitação que recebem através das sinapses.¹⁷⁶ Nesse caso, o tratamento por equações de diferenças finitas, permitiria resolver o problema do tratamento de redes lineares e alguns casos de redes não lineares, usando as teorias convencionais da engenharia do controle, para os sistemas com amostragem de dados.

Alguns dos nossos resultados têm relação com a Teoria Matemática da Informação criada por C. Shannon, que está construída sobre uma definição quantitativa dos conceitos fundamentais ligados à codificação, transmissão e descodificação de informação. Referimo-nos especialmente, à proposta de uma medida para o processamento de informação, realizado em redes de neurónios e o estudo de alguns mecanismos do condicionamento, feito desse ponto de vista.¹⁷⁴

Para completarmos a situação do nosso trabalho no contexto da Cibernética, devemos ainda mencionar que se tem afirmado que nenhuma máquina pode ter um comportamento inteligente. O argumento mais forte invocado em favor dessa posição, é dado pelo célebre teorema publicado por Kurt Gödel, em 1931, em que se mostrava que do uso de regras fixas de inferência, para definir o critério de verdade a partir de um conjunto de axiomas, resulta que o sistema que se obtém é sempre ou incompleto ou inconsistente.

Todavia, se houver liberdade para se juntarem novos axiomas ou regras de inferência ao sistema, de uma maneira consistente, pode conseguir-se uma extensão tão grande quanto se desejar, do número de inferências que se tornam possíveis.

A maior dificuldade reside não nos Teoremas de Gödel, mas na dificuldade de conceber um sistema que tenha uma capacidade de auto-organização que, pelo menos em princípio, seja comparável àquela que está implícita em muitos comportamentos do homem.

A posição que tomámos e vamos seguir sistematicamente, corresponde assim a uma das linhas possíveis de evolução da Cibernética, numa investigação multidisciplinar.

Com a importância crescente que recentemente tem sido atribuída ao estudo do Sistema Nervoso do ponto de vista do processamento de informação, com a aplicação das técnicas de engenharia ao estudo dos sistemas biológicos, os estudos teóricos têm vindo a assumir cada vez maior importância nos programas de investigação do Sistema Nervoso, em qualquer das disciplinas em que esse estudo convencionalmente é dividido na prática: - A Neuroanatomia, Neurofisiologia, Psicofisiologia, Psicofísica, Psicologia experimental, Etologia, Psicologia Comportamental, Psicologia introspectiva, Psicologia dos Processos Cognitivos, e mesmo dentro das várias ou-

tras disciplinas que servem de base ou constituem parte importante da Psiquiatria.

O uso dos métodos dos modelos, para explicar os processos neurofisiológicos e comportamentos, expandiu-se extraordinariamente nas duas últimas décadas.

Os neurofisiologistas e os psicólogos têm conseguido apropriar para o seu estudo, uma vasta gama de instrumentos conceptuais. Entretanto, surgiram ou desenvolveram-se ramos de matemáticas aplicadas^{174, 175, 180, 181, 202, 464, 483, 552} e inventaram-se, devido a esse impulso, novos instrumentos tecnológicos. Ao lado do especialista, circunscrito a uma única disciplina, como era frequente no passado, surgiram os especialistas em várias disciplinas simultaneamente. Assiste-se actualmente a um rápido crescimento de interesse dos matemáticos, físicos, engenheiros por estes ramos de conhecimento.

Os progressos alcançados, sugerem que este tipo de actividade virá a ter influência rapidamente crescente na evolução das investigações do Sistema Nervoso.

O MÉTODO DOS MODELOS

A construção de modelos, como parte importante da investigação do Sistema Nervoso, não difere em princípio, da actividade do mesmo tipo que é corrente em disciplinas científicas com maior avanço na sua formalização.

A utilidade dos modelos é manifesta sob vários pontos de vista: (1) como um meio poderoso de resolver problemas científicos, na medida em que é possível através de um modelo, estabelecer uma relação que ligue conceptualmente, num esquema unificado, dados isolados e desconexos ou mesmo, noutros casos, aparentemente irreductíveis uns aos outros. Esses dados podem corresponder tanto a variáveis directamente observáveis, como a variáveis intervenientes introduzidas para a explicação de um conjunto de fenómenos. (2) Os modelos podem servir para pôr à prova uma teoria, sujeitando-a ao test rigoroso, de verificar se quando se faz uma análise rigorosa do comportamento de um modelo que lhe corresponda, os conceitos que entram na construção, efectivamente explicam de maneira completa e consistente os fenómenos a que dizem respeito. (3) Os modelos podem sugerir novas relações e novas interrogações, quando apropriadamente formalizados, e permitem evitar o uso de palavras com ambiguidades de significação, que as tornam maus instrumentos para uma análise rigorosa de um problema científico.

A formalização implícita na construção de um modelo, pode por si só, representar um progresso considerável.

A linguagem formal em que um modelo é descrito, não só é mais rigorosa como por vezes facilita ou aumenta o poder de discriminar diferentes conceitos — por exemplo, nos modelos que vamos apresentar para o mecanismo de condicionamento surgirão numerosas estruturas diferentes, possivelmente todas existentes, e que permitem definir em relação com um dado comportamento aparentemente simples e único, um conjunto de processos neuronais que têm poucas semelhanças entre si. De um ponto de vista Whorfiano, podemos dizer que a linguagem dos modelos permite formas de pensar e construções conceptuais que seriam muito difíceis ou mesmo impossíveis noutra linguagem.

Os modelos aumentam a diversidade da linguagem natural — com a vantagem em alguns casos, de serem formulados dentro de um cálculo — e, nos casos melhor sucedidos, permitem fazer novas previsões, que podem ser postas à prova experimentalmente.

Mesmo quando incompletos, se forem suficientemente representativos do nosso conhecimento da realidade, podem, por exemplo, dar-nos uma valiosa informação sobre as limitações a que está sujeita a nossa possibilidade de investigação ou as limitações do sistema que estudamos e que são devidas à sua estrutura.

Outra das vantagens destes modelos em relação às teorias puramente verbais, é que nestas últimas, é praticamente impossível estar-se seguro de que as conclusões a que se chega resultam apenas das hipóteses feitas explícita e intencionalmente e que não dependem de elementos imprevisíveis ou que não foram incluídos de-

liberadamente e que intervêm na interpretação de um modo difícil de controlar.

A construção de modelos, consiste essencialmente na procura de um sistema coerente e adequado que permita interpretar os dados experimentais, dentro de um sistema de referência apropriado.

A simples descrição que o investigador faz dos seus dados, é já uma forma de modelo, embora esse facto nem sempre seja explicitamente reconhecido.

Passa-se qualquer coisa de análogo com as teorias científicas, isto é, a uma teoria corresponde um modelo: pode falar-se com propriedade de um modelo comportamental, etológico, reflexológico, psicanalítico, existencial, convergente e estruturado em camadas, etc.

Esses são modelos implícitos, que resultam de uma actividade científica que não teve primariamente por objectivo a sua construção. Os modelos que vamos apresentar, pertencem a uma atitude diferente das que acabamos de mencionar. No nosso caso, servimo-nos da construção de modelos como actividade complementar da investigação experimental.

A crescente importância do ponto de vista do processamento de Informação, de reafirmação (feedback), e em geral, o uso corrente de conceitos desenvolvidos inicialmente pela engenharia do controle e da comunicação, na interpretação dos dados sobre o funcionamento do Sistema Nervoso, têm vindo a ser acompanhados de um grande aumento de interesse, pela construção de modelos do tipo dos que vamos estudar.

TIPOS DE MODELOS

A representação em modelo é sempre simplificada, em comparação com os processos, tal como eles ocorrem na natureza. Os dados de observação ou os dados experimentais são descritos no modelo a um certo nível de abstracção em que muitas qualidades dos sistemas são ignoradas ou consideradas como irrelevantes. Em qualquer caso, a semelhança com os sistemas que eles representam é apenas formal.

Ao construir um modelo - empregamos esta expressão num sentido conceptual - geralmente procura-se que ele incorpore um conjunto de características tão simplificadas quanto possível. Torna-se assim possível, empregar para o seu estudo, os métodos de análise e síntese de que já dispomos. A esta atitude está associado o inconveniente grave, de poder haver omissão de parâmetros importantes, por excesso de simplificação.

Foi este o método que usámos. No capítulo sobre as modificações das convenções mostramos que, em princípio, as características dos modelos assim obtidos são equivalentes às dos modelos mais complexos que conhecemos na literatura.

No nosso trabalho, quando os comportamentos a representar em modelo não sejam especificáveis em detalhe, a actividade de modelação poderá ficar limitada à construção de Diagramas de Fluxo de Informação ou de Blocos-Diagramas. A alguns desses modelos não corresponde ainda um algoritmo. Limitam-se a serem realizáveis em programação heurística.

Na construção de modelos, usa-se por vezes, uma estratégia que consiste em introduzir desde o início o mais elevado número de características que for possível, representadas com o maior rigor. No entanto, esses modelos são dificilmente analisáveis por não existirem instrumentos matemáticos apropriados, e daí resulta que se torna ulteriormente necessário simplificá-los, com os inconvenientes apontados para o primeiro método.

À construção de um modelo segue-se a sua validação, comparando o seu comportamento com o do sistema biológico que ele representa. Procura-se também descobrir características do modelo que não foram previstas inicialmente de maneira explícita. Pode até fazer-se uma investigação "em modelo" procurando encontrar características que conduzam a novas hipóteses de investigação experimental.

É também importante verificar se o nível de linguagem adoptado é adequado.

Nomeadamente, um neurónio pode ser estudado aos níveis (1) biofísico, (2) bioquímico, (3) fisiológico, (4) informático e (5) lógico, pelo menos.

Além disso, o processo considerado como relevante e que se procura representar, pode (1) ser sub-celular – estrutura molecular (R N A e D N A, por exemplo) a dinâmica das trocas iónicas, os mecanismos da membrana; (2) dizer respeito à entrada (input) e à saída (output), de um neurónio considerado isoladamente; (3) corresponder ao funcionamento de redes com complexas relações inter-neuronais, ou (4) tratar-se das correspondências entre o comportamento de redes neuronais e o próprio comportamento global do organismo em transacção com o meio.²⁵⁴

Nos nossos modelos, iremos seguir o método iniciado por McCulloch e Pitts em 1943 no seu trabalho: "Um Cálculo Lógico das Ideias Imanentes na Actividade do Sistema Nervoso".

A adopção dos neurónios formais de McCulloch e Pitts, ou dos Neurónios com interacção de aferentes, como instrumento para uma teorização tão extensa quanto nos foi possível resulta, para além das razões de existirem previamente, ou terem sido por nós desenvolvidos, métodos de análise e de síntese que nos permitem dispor de uma teoria geral para este tipo de operadores, do facto de estes modelos poderem ser interpretáveis a nível biofísico, informático, lógico, semântico e comportamental, como mostraremos nos capítulos que se vão seguir.

Note-se que deste conjunto de interpretações e de consequências, a mais interessante é a da dupla interpretação biofísica-lógica que permite um uso imediato das redes neuronais na teorização das funções psicológicas.

Corrigimos a inadequação dos neurónios formais no que se refere à representação dos processos de membrana, introduzindo o tratamento por métodos Pseudo-Booleanos, que permite uma considerável aproximação dos dados biológicos, e em que as redes que resultam são sempre redutíveis a redes de neurónios com interacção de aferentes, ou redes de neurónios formais, desde que se faça uma adequada especificação das características espacio-temporais dos processos.

Os modelos que empregaremos nos processos cognitivos e em relação a outros processos psíquicos mais complexos, serão constituídos por Diagramas de Fluxo de Informação ou por Blocos Diagramas nos casos em que seja possível construir um algoritmo que, em princípio, é capaz de realizar a função que estamos interessados em representar.

Em relação aos modelos matemáticos, tivemos que resolver problemas ligados à não-linearidade dos sistemas biológicos. Conseguimos dois métodos completamente gerais, um usando operações algébricas definidas em Corpos de Galois e outro em que se usam equações e desigualdades Pseudo-Booleanas. Usámos ainda a Teoria matemática da Informação e esboçámos uma aplicação da Análise Harmónica Generalizada e da Teoria Estatística de Informação. Os métodos algébricos permitem-nos especificar as funções de transferência das redes neuronais que nos possam interessar e determinar os seus estados estáveis e os seus ciclos de oscilação.

Deve ter-se presente, no entanto, que existem grandes limitações ao emprego de todos estes métodos quando aumenta a dimensão dos sistemas.

Não fizemos qualquer tentativa para usar como modelos, quer dispositivos físicos, quer programas que simulem os mecanismos fisiológicos ou psicológicos em computador. Esses métodos, principalmente a simulação em computador, terão vantagens em fases ulteriores, quando aumente o detalhe e a quantidade dos dados a processar.

As técnicas de simulação poderão ter interesse, não só para o caso das redes neuronais, como ainda e principalmente para os processos cognitivos.

As técnicas de programação de modelos, procurando simular em computador os processos cognitivos do homem, constituem um ramo da psicologia e da matemática em rápido crescimento, que recebe correntemente na literatura a designação de "Inteligência artificial". Os programas mais notáveis deste tipo, incluem o "General Problem Solver"^{510, 511}, as estratégias de decisão, a interacção social, o reconhecimento de formas, os jogos como o xadrez e as damas, a demonstração de teoremas, etc. O programa "The logical Theorist" demonstrou 250 teoremas dos Principia Mathematica, alguns deles de maneira mais elegante que os próprios Whitehead e Russel o

haviam feito. Pertencem ainda a este domínio a representação de processos cognitivos em geral, e os problemas ligados à tradução automática e aos modelos de memória.

Como impulsionadores desta linha de investigação através da programação heurística, devem mencionar-se Newell e Simon que se interessaram por representar os processos subjacentes à inteligência humana. Serviram-se para isso dos dados colhidos enquanto os sujeitos de observação pensavam em voz alta, ao resolver um problema que se lhes punha. Como passo seguinte, construíram depois um programa capaz de simular no computador, o comportamento desses sujeitos. Fizeram-no de maneira comparável àquela em que numa teoria psicológica "molar", se descreve um sistema de processos e estruturas subjacentes a um comportamento.

Esses programas estão sujeitos aos mesmos critérios de validade que as teorias psicológicas convencionais, no que se refere à sua adequação.

A posição de Newell, Shaw e Simon é a de considerarem o seu programa "General Problem Solver" como uma teoria comparável a qualquer outra teoria.

"Se formos bem sucedidos ao construir um programa que simula o comportamento do sujeito de maneira bastante aproximada, compreendendo um âmbito significativo de situações de resolução de problemas, então poderemos encarar o programa como uma teoria do comportamento. Quanto vamos valorizar a teoria dependerá, como com todas as teorias, da sua generalidade e da sua parcimónia - de quanto extenso é o domínio de fenómenos que ela explica e quão económica ela é na sua expressão".

Note-se que alguns destes programas consideram uma tal quantidade de dados, e o seu detalhe é tão grande, que excedem em muito tudo o que até hoje tenha sido possível fazer, em qualquer das teorias psicológicas aceites para os processos cognitivos.

Há no entanto grandes reservas a fazer a um entusiasmo apressado por esta corrente: os programas são baseados nos conceitos "molares" da psicologia Behaviorística, e nada garante que em detalhe, no Sistema Nervoso, os processos tenham qualquer semelhança com a programação empregada, embora os resultados finais possam ser idênticos sob muitos aspectos. Os computadores têm uma memória de tipo completamente diferente da do homem. Os tipos de erros não são os mesmos. Os efeitos de emoções e conflitos não foram representados, embora em princípio o possam ser.

A componente subjectiva não tem nada de análogo em computador, nem foi ainda desenvolvido, de maneira completa, um cálculo que tenha sido provado ser capaz de exprimir o aspecto reflexivo dos processos conscientes, embora haja tentativas interessantes nesse sentido.

O problema da localização da informação (Information Retrieval) só teve até hoje soluções parcelares, o mesmo acontecendo em relação à tradução automática.

Os programas só executam aquilo para que foram concebidos. Não criam, apenas realizam processos, de acordo com instruções rígidas. Este aspecto porém está a ser superado - veja-se, entre outras, a solução que propomos para um modelo de auto-organização e auto-programação dependendo da experiência.

Para julgar a contribuição dos modelos baseados no ponto de vista do processamento da informação no Sistema Nervoso, deve ter-se presente a analogia que existe entre, por um lado a situação criada pelo uso do método dos modelos, e por outro, a utilização que se faz correntemente de dados obtidos na experimentação animal, para a interpretação dos processos psíquicos do homem.

O rápido progresso da psicologia como disciplina científica, mostra que a experimentação animal é de grande utilidade. Há no entanto grandes diferenças de espécie para espécie, e a aceitação dos resultados obtidos em experimentação no animal, como adequados para a explicação de processos que têm no homem uma complexidade incomparavelmente maior, tem que ser necessariamente cautelosa.

O mesmo se passa em relação à investigação na actividade do Sistema Nervoso através do uso dos modelos: há muitos aspectos em que é legítimo explicar os mecanismos fisiológicos e os processos psicológicos, usando os conhecimentos adquiridos na construção de modelos, mas não se deve esquecer que a complexidade de

uns e outros é completamente diferente.

Estas restrições não significam porém que as cautelas a haver com os dados obtidos pelo estudo subjectivo ou pela análise fenomenológica, não impliquem limitações ainda mais graves que o método dos modelos contribue para superar.

REDES DE NEURÓNIOS FORMAIS

Ao construirmos modelos para os Reflexos Condicionados, Motivação e Percepção, servimo-nos das teorias psicofisiológicas para especificarmos as características formais que eles devem satisfazer.

No que se refere aos Processos Cognitivos, à Decisão e aos Planos de Acção, as especificações foram feitas por extrapolação a partir dos modelos anteriores.

Consideramos como irrelevantes, no contexto da presente tentativa, quaisquer características que não sejam expressamente especificadas e discutidas. Estas condições podem, aparentemente, implicar uma acentuada diminuição do valor heurístico e teórico imediato dos modelos. Uma análise mais detalhada das convenções, alguns resultados por nós obtidos, e a consistência com que se integram na teoria psicológica convencional, e ainda certos resultados que dependem de interpretações completamente independentes, mostrarão que, efectivamente, não é esse o caso. Deverá ter-se ainda em conta que os resultados apresentados foram obtidos num tempo relativamente curto, e não há nenhuma razão de princípio que impeça a futura progressão do nosso programa.

Se os modelos surgem como surpreendentemente simples, isso mostra que sob uma aparência complexa, teorias psicológicas correntemente aceites têm uma estrutura que do ponto de vista conceptual é rudimentar.

Os modelos podem ser considerados como metáforas, em que certas características inerentes aos processos psicológicos foram simplificadas e outras ignoradas.

A intenção não é a de reproduzir a verdadeira estrutura do Sistema Nervoso ou as características dos mecanismos fisiológicos tal como surgem na experimentação, mas mostrar que uma grande parte dos dados considerados em psicologia, quer comportamental quer fenomenológica, poderiam ser explicados por meio de um processamento de informação em redes de neurónios. No que respeita a um certo nível de descrição dos dados experimentais, fica demonstrado que os princípios gerais de funcionamento definidos em relação aos modelos (e que ou coincidem com esses dados experimentais ou geralmente são menos poderosos do que os fenómenos fisiológicos, considerados tal como os meios de estudo experimental permitem descrevê-los), são suficientes para explicar e compreender, em princípio, as relações que sabemos existirem entre a estrutura e funcionamento do Sistema Nervoso, e os processos psicológicos.

A explicação é pois suficiente a um nível qualitativo. Em relação a um nível de explicação que tome em conta uma descrição quantitativa dos dados fisiológicos, os modelos, tal como os apresentamos, são inadequados. Note-se, porém, que alguns resultados matemáticos que obtivemos mostram como é possível, em princípio, atingir este segundo nível de adequação da descrição, usando para isso precisamente o mesmo tipo de modelos.

Uma outra maneira de considerar estes modelos, é a de tomá-los como expressão de uma linguagem nova para descrever os fenómenos fisiológicos — uma linguagem com as características de um cálculo, e que é susceptível de ser interpretada de tal modo que, quando se faz a descrição de cada função, se está ao mesmo tempo a especificar uma rede nervosa capaz de a realizar.

As estruturas são sem dúvida muito mais simples do que as estruturas do Sistema Nervoso, mas far-se-á uma tentativa para que os modelos concordem na sua estrutura geral, com certas características anatómicas.

Quando as especificações correspondem satisfatoriamente às teorias usadas

para a sua construção, a relação entre o modelo e a realidade⁵⁶ é semelhante à relação entre teoria e realidade, embora com a diferença de a representação em modelos de um conjunto de constructos, dar lugar a consequências, que precisamente, são a representação em modelo, do nosso conhecimento das relações entre os factos que servem para se construir uma teoria – quer dizer, a diferença fundamental entre modelo e teoria consiste em os dados de observação serem epistemologicamente prévios à construção de uma teoria, mas epistemologicamente posteriores em relação aos modelos.

Os nossos modelos são construídos com (a) neurónios formais do tipo McCulloch-Pitts, (b) neurónios com interacção de aferentes, (c) neurónios com p estados (p qualquer primo) e (d) neurónios cujo estado de excitação pode ser definido por números que pertencem ao Corpo dos Reais.

Especificam-se condições de funcionamento sucessivamente mais complexas, atingindo-se nos diversos casos, diferentes graus de aproximação em relação às estruturas e processos que se pretendem representar.

Estes neurónios constituem redes. Para além do cálculo de expressões posicionais temporais de que se serviram McCulloch e Pitts, e das tabelas empregadas por Kleene (e que servem para a formulação e demonstração de teoremas da Teoria dos Autómatos Finitos) desenvolve-se um cálculo matricial para o funcionamento de redes lineares e não lineares, e menciona-se a existência de um cálculo Tensorial para as relações lógicas.

Podemos acrescentar que os resultados descritos a seguir visam a resolução de problemas que surgem quando se estabelece (1) uma relação entre variáveis do Meio Externo e Meio Interno e características da actividade do S.N., e (2) entre o comportamento animal e certos resultados microfisiológicos obtidos a partir do estudo directo da actividade de células isoladas do S.N.

Os modelos neuronais são um meio adequado para formular as "relações psicofísicas", tomando em conta as descobertas da Neurofisiologia, Psicofisiologia, Psicologia Comportamental e alguns factos da descrição fenomenológica da actividade psíquica.

Com respeito aos dados fenomenológicos, faremos a prospecção das possíveis contribuições dos modelos, para o conhecimento das relações entre os macrofenómenos psicológicos e os microfenómenos neurofisiológicos, de modo que possa tentar-se um sistema unificado de explicação para os processos envolvidos em ambos os tipos de fenómenos.

Embora a forma sistemática e a extensão em que procuramos realizar estes objectivos sejam de certo modo novos nesta disciplina, o nosso programa não se afasta das linhas de investigação prosseguidas em tentativas geralmente mais parciais, por numerosos autores e deste há longo tempo.

Esperamos que a eficácia do método usado mostre, como são precários os limites que se pode pretender por, a priori, ao uso de uma maneira de pensar rigorosa nas "ciências do espírito".

Como resultado deste trabalho surgirá uma teoria estratificada por camadas, em que o "novo" de cada uma delas, resulta de novas formas de relação que se estabelecem entre elementos que já pertenciam às camadas inferiores, com ou sem inclusão de outros elementos novos. A extensão dos resultados a outras disciplinas é imediata, e será tentada, em linhas gerais, no que se refere à Psiquiatria.

SÍMBOLOS USADOS NA CONSTRUÇÃO DOS MODELOS

Usaremos a notação por "Neurónios Formais" de McCulloch e Pitts, aos quais acrescentámos "Receptores" e "Efectores".

Estes elementos dos modelos definem uma interpretação de operadores do Cálculo de Predicados¹¹¹ de 1ª ordem, e são gráficamente representados:

- (1) os neurónios, tal como os neurónios do S.N., como constituídos por um corpo celular, prolongado por um axónio com tantas ramificações e sub-ramificações quantas forem convenientes para a construção do modelo, cada uma delas terminando por um botão sináptico, excitatório ou inibitório. Cada botão sináptico de um dado axónio pode apenas contactar com um único corpo celular. (a) de um neurónio ou de um efector do modelo, ou (b) de um efector, sendo considerada indiferente, nesta primeira convenção, o ponto do corpo celular em que o contacto se estabelece.
- (2) os receptores como constituídos por um corpo celular. O primeiro neurónio que contacta com um receptor tem um axónio ramificado em T, em que uma dessas duas ramificações contacta com o corpo celular do receptor e a outra um elemento do modelo diferente de um receptor ou neurónio ou efector. Este axónio tem tantas ramificações e sub-ramificações quantas forem convenientes para a construção de um modelo. Cada uma das ramificações que contactam com um neurónio ou um efector termina por um botão sináptico ou excitatório ou inibitório.
- (3) Os effectores, como constituídos por um corpo celular, com ou sem associação com estruturas especializadas.

Regras de Funcionamento dos Elementos

- (1) Cada neurónio pode apenas estar em um de dois estados: (a) "activo", ao que corresponde a notação 1 nas tabelas e (b) "em repouso", ao que corresponde a notação 0. A passagem de um estado a outro é considerada instantânea. Para um neurónio entrar em actividade e passar do estado 0 para o estado 1 é necessário que a soma algébrica do número de sinapses activas q_i , tomando as excitatórias com o sinal + e as inibitórias com o sinal - seja: $Q_E = \sum_{i=1}^n q_i \geq L$, isto é, que a quantidade de excitação Q_E seja igual ou superior ao limiar L atribuído ao neurónio pelo número inscrito no respectivo corpo celular. Ao estado 1 instantâneo de cada botão sináptico é sempre associada uma quantidade de excitação $q_i = 1$, se a terminação é excitatória, e $q_i = -1$ se é inibitória, e que se transmite integralmente ao corpo celular de modo instantâneo. O limiar neuronal é sempre $L \geq 0$. Representa a quantidade de excitação necessária para produzir o estado 1 no neurónio, no instante em que o corpo celular sofre a acção das terminações sinápticas. Portanto, temos para qualquer elemento E .

$$E | (t) \equiv \left((Q_{E|,t} = \sum_{i=1}^n q_{i,t}) \geq L \right)$$

Se as condições que especificámos forem satisfeitas, a excitação instantânea transmitida através das sinapses, determina, também instantaneamente, o estado 1 no corpo celular do elemento com o qual os botões sinápticos contactam. Esse estado 1 tem uma duração constante T, qualquer que seja o t_j ou o elemento considerado. Esse estado 1 cessa de maneira instantânea.

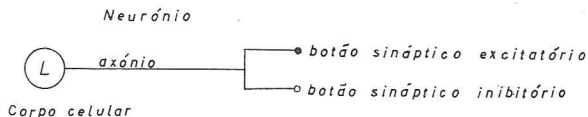
O estado 1 do axónio, terminações sinápticas e a transmissão da excitação (ou inibição) das terminações sinápticas para o corpo celular com o qual essas terminações contactam, ocorrem também instantaneamente.

O estado 1 do axónio só começa T depois do estado 1 do respectivo corpo celular ter começado, e é instantâneo, qualquer que seja o comprimento do axónio.

Dadas as regras de conexão dos elementos e as regras de funcionamento, a excitação só pode ser transmitida ou de um receptor para um neurónio, ou de um neurónio para um neurónio ou um efector, e implica a condução instantânea num único sentido (com excepção do que se passa nas células bipolares em que a terminação sensitiva é sujeita às mesmas regras que os botões sinápticos e o mesmo se passa em relação ao axónio).

Nos outros neurónios a condução é também instantânea, e sempre no sentido do corpo celular ao qual o axónio pertence, para o corpo celular dos elementos com os quais contactam as terminações sinápticas desse axónio.

O estado 1 de qualquer neurónio – o que inclui o estado 1 do corpo celular, axónio e terminações sinápticas, dura sempre T tal como o estado 1 do corpo celular, uma vez que a condução no axónio e nas transmissões sinápticas é nesta primeira convenção considerada instantânea.



- (2) Cada Receptor só pode estar em um de dois estados: (a) activo durante o tempo T ao que corresponde a notação 1, e (b) em repouso, ao que corresponde a notação 0.

Para um receptor estar activo, isto é, ser excitado e passar do estado 0 ao estado 1 é necessário que:

(a) a quantidade de excitação transmitida a esse receptor por objectos do meio externo ou interno, e que é expressa por variáveis que serão definidas, seja igual ou superior ao limiar inscrito no corpo celular (no caso do limiar não ser expressamente indicado deve entender-se que é 1);

(b) o instante em que é excitado (α) seja "inicial", definindo-se instante inicial, neste contexto, como qualquer instante em que o estado de todos os elementos do modelo – receptores, neurónios, efectores – seja 0, ou (β) seja "não inicial", e nesse caso, esse instante estará separado do instante inicial ocorrido há menos tempo, por um número inteiro de unidades de tempo do modelo, nT ;

(c) (α) se o estímulo é instantâneo, tem que obedecer à condição (b) para produzir o estado 1 no receptor.

(β) Se a sua duração não é instantânea, o receptor será actuado apenas nos instantes que obedecem à condição (b); na presente convenção será indiferente para a resposta do receptor que seja actuado instantaneamente em dois ou mais instantes sucessivos (de acordo com β), ou de maneira contínua nesses mesmos instantes e no intervalo entre eles, por um único objecto ou por objectos diferentes.

Desde que o limiar seja atingido, o estado do corpo celular muda instantaneamente do estado 0 para o estado 1 durante o tempo T (constante, independentemente do receptor ou do T_j que é considerado).

Só no fim de T a terminação sensitiva das células bipolares é actuada pelo estado de actividade do receptor.



- (3) Os Efectores só podem estar em um de dois estados: a) activos durante o tempo T ao que corresponde a notação 1, ou em repouso, ao que corresponde a notação 0. A unidade de tempo T é a mesma que para os neurónios e receptores dos modelos.

É condição necessária e suficiente para um efector ser excitado e passar do estado 0 ao estado 1, que a soma algébrica das quantidades de excitação (ou inibição) ligadas ao estado das terminações sinápticas que actuam sobre o seu corpo celular num dado instante, seja igual ou superior ao limiar inscrito no seu corpo celular (no caso do limiar não ser expressamente indicado deverá entender-se que é 1).

O tempo durante o qual um efector determina uma modificação no meio externo ou interno é T e coincide com a duração do seu estado 1.

Dadas as regras de conexão do modelo, o estado de excitação dos efectores dependerá exclusivamente do estado das terminações sinápticas que pertencem a neurónios do modelo.

O estado de excitação de um efector não pode determinar de maneira imediata uma modificação no estado de qualquer elemento do modelo, mas apenas em objectos do meio externo ou interno - na introdução rigorosa destas relações com o ME e o MI que faremos adiante, admitiremos que as modificações que se exprimem pela mudança dos valores assumidos pelas variáveis de ME ou MI, podem por sua vez vir alterar o estado de receptores do modelo.

E

Corpo celular do efector

Definamos o conceito de Rede pela seguinte recursão:

- (1) Qualquer elemento do tipo descrito é uma rede.
- (2) Qualquer combinação de elementos feita de acordo com as regras de conexão é uma rede.
- (3) Se R_i e R_j são duas redes independentes, o resultado da operação de conectar-se qualquer elemento de uma delas, com um de outra, de acordo com as regras anteriores, é uma rede.
- (4) Se R_i e R_j são duas redes independentes e não se estabelece qualquer ligação entre elas, o conjunto dessas duas redes é uma rede.
- (5) Nada mais é uma rede.

Além da notação cuja interpretação acabamos de especificar, usaremos ainda na nossa exposição, uma outra notação por "Expressões proposicionais temporais", em que cada neurónio i será representado por N_i , cada Receptor i por R_i , e cada efector i por E_i .

O estado de actividade de um dado elemento j , por exemplo N_j , a partir do instante t , será denotada por $N_j(t)$ e o estado de repouso por $\bar{N}_j(t)$.

Por vezes o numeral subscripto de N é considerado como se pertencesse à linguagem-objecto, e estivesse no lugar de um argumento functoral, de modo tal que possa ser substituído por uma variável numérica $[Z]$ e quantificado.

Os problemas que é necessário resolver em geral, são os de (1) calcular o comportamento de qualquer rede que seja dada e (2) o de encontrar uma rede que se comportará de uma maneira especificada, se essa rede existir.

McCulloch e Pitts⁴⁶ definiram uma "Expressão Proposicional Temporal" (EPT) que designa uma "Função Proposicional Temporal" (FPT) pela recursão seguinte:

- (1) Uma $p_i [Z]$ é uma EPT em que p_i é uma variável predicado.
- (2) Se S_1 e S_2 são EPT que contêm a mesma variável individual livre, então também o são (SS_1) , $(S_1 \cup S_2)$, $(S_1 \cdot S_2)$ e $(S_1 \sim S_2)$.
- (3) Nada mais é uma EPT.

Os seguintes Teoremas demonstrados por McCulloch e Pitts asseguram-nos de que é possível resolver os problemas de construção de redes:

Teorema I

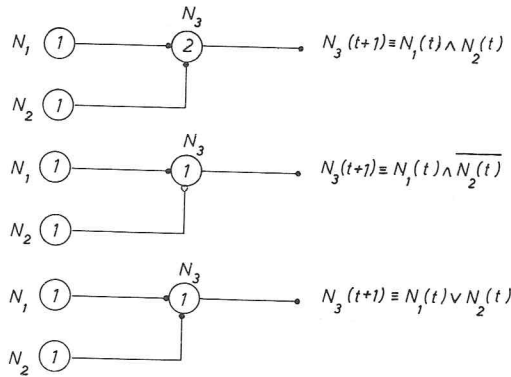
Qualquer rede de ordem 0 pode ser resolvida em termos de Expressões Proposicionais Temporais.

Teorema II

Toda a EPT é realizável por uma rede de ordem zero.

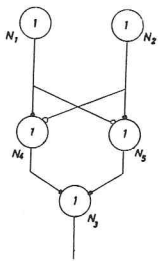
A expressão "rede de ordem zero" deve entender-se como significando que a rede não contém laços fechados.

Vamos agora apresentar alguns exemplos de expressões proposicionais temporais, acompanhadas por redes que lhes correspondem:



A expressão $N_3(t+1) \equiv N_1(t) \cap \overline{N_2(t)} \cup \overline{N_1(t)} \cap N_2(t)$

pode ser realizada se abstrairmos do tempo especificado introduzindo dois neurónios N_4 e N_5 tais que:



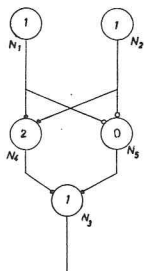
$$N_4(t+1) \equiv N_1(t) \cap \overline{N_2(t)}$$

$$N_5(t+1) \equiv \overline{N_1(t)} \cap N_2(t)$$

$$N_3(t+2) \equiv N_4(t+1) \cup N_5(t+1)$$

A expressão $N_3(t+1) \equiv N_1(t) \cap N_2(t) \cup \overline{N_1(t)} \cap \overline{N_2(t)}$

pode ser realizada, se abstrairmos do tempo indicado na expressão, introduzindo dois neurónios N_4 e N_5 tais que:



$$N_4(t+1) \equiv N_1(t) \cap N_2(t)$$

$$N_5(t+1) \equiv \overline{N_1(t)} \cap \overline{N_2(t)}$$

$$N_3(t+2) \equiv N_4(t+1) \cup N_5(t+1)$$

Um único neurónio, não é capaz de realizar, duas das 16 funções booleanas de dois inputs: o "ou exclusivo" e a "equivalência".

Essas funções só podem ser realizadas introduzindo mais neurónios ou modificando as convenções.

Manuel Blum⁵⁰ demonstrou que se se admitisse a interacção entre aferentes, cujo paradigma neurofisiológico, é dado pelos fenómenos de excitação e de inibição pré-sináptica, um único neurónio seria suficiente para realizar qualquer função Booleana de n aferências.

A importância da notação e dos teoremas de McCulloch e Pitts, foi o de mostrar que uma rede neuronal com laços fechados adequados, é capaz de realizar as mesmas computações que uma máquina de Turing com fita finita. É este o sentido rigoroso do comentário que é corrente, em que se diz que é sempre possível construir uma rede capaz de realizar um processo que seja descrito de maneira exaustiva e não ambígua.

Além destas duas notações e da notação que usaremos para estudar as redes neuronais, baseando-nos nas propriedades de Corpos de Galois, servir-nos-emos também de tabelas, que permitem uma fácil leitura das sucessões de estados pelos quais uma rede vai passando.

Essas tabelas serão conjuntos de uns e zeros, dispostos de maneira regular em linhas e colunas como numa matriz.

Nessas tabelas, um instante inicial será denotado por t_0 e precederá a primeira linha que define o estado dos elementos da rede durante a primeira época de duração T que se segue ao instante inicial.

Qualquer instante t_i precederá a linha de uns e zeros que lhe pertence e estará sempre separado de t_0 ocorrido há menos tempo ou de qualquer t_j ($j > 0$) por um número inteiro de unidades de tempo T .

Cada coluna é atribuída a um único elemento da rede, cujo estado, nos instantes sucessivos t_i fica assim definido.

Cada linha corresponde aos estados de todos os elementos do modelo (ou parte do modelo), durante a época T que se segue a qualquer instante t_i definido de acordo com as regras de temporização.

	R_A	R_B	N_1	N_2	N_3	...	E_A	E_B
t_0	0	1	0	0	0	0	0	0
$t = t_0 + T$				1				
$t = t_0 + 2T$								
$t = t_0 + nT$	1							

Deve distinguir-se entre esta representação e a notação de Kleene³⁶⁵, em que Evento significará uma propriedade da entrada em todo o tempo passado e terminando com o estado actual, inclusivé.

Kleene distingue vários tipos de Eventos:

Eventos definidos - são eventos que ocorrem num período de tempo fixo, constituído por l (≥ 1) instantes consecutivos $l - l' + 1, l - l' + 2, \dots, l$ e que terminam com o instante actual. Um evento deste tipo é dito definido e de duração l .

Quando não seja este o caso, os Eventos são designados Eventos Indefinidos.

Sem que entremos agora na discussão dos resultados de Kleene, uma vez que eles apenas esclarecem resultados já obtidos por McCulloch e Pitts, diremos apenas que o principal resultado de Kleene, foi o de definir Eventos regulares e mostrar que só eventos desta classe são representáveis numa rede

Nesta formulação os teoremas de McCulloch e Pitts tomam a forma seguinte:

T1 - Para cada Evento definido, há uma rede modular, sem laços fechados, que representa o Evento por meio do estudo da actividade de um dos módulos que pertence à rede, no instante $t + 2$.

T2 - Qualquer Evento que é representável numa rede modular sem laços fe-

chados, pelo estado de actividade de um dos módulos que pertence à rede no instante $t + \tau$ ($\tau \geq 1$) é definido.

Definição de Eventos Regulares:

Consideremos os conjuntos de Tabelas: E e F ; $E \cup F$, isto é, o conjunto de tabelas ao qual uma tabela pertence, (1) se pertence a E ou a F ; (2) a $E \cdot F$; isto é o conjunto de tabelas ao qual uma tabela pertence se for o resultado de escrever qualquer tabela de F imediatamente por baixo de qualquer tabela de E , em que E é definido; (3) a $E^* F$, isto é, se for o resultado da iteração de E em F , definida sob a forma $\sum_{n=0}^{\infty} E^n F$ em que Σ significa uma disjunção do tipo $FUEFUEE F U \dots$

Conjuntos regulares de tabelas, são a menor classe de conjuntos de tabelas que inclui uma única tabela, o conjunto vazio e que é fechada para as operações que definimos sobre dois elementos quaisquer E, F . $E \cup F$, $E \cdot F$ e $E^* F$.

Um Evento é Regular se existe um conjunto regular de tabelas que o descreve, isto é, o Evento ocorre se e só se, o estado da entrada é descrito pelo menos por uma das tabelas do conjunto.

Resulta imediatamente destas definições que todos os Eventos Definidos e alguns Indefinidos são Eventos Regulares.

T3 - Para cada Evento Regular há uma rede modular que representa o Evento por meio do estado de actividade de um dos módulos que pertence à rede no instante $t + 2$, quando o estado inicial dos módulos da rede no instante t é adequado.

Teoria dos Autómatos

Como o que temos vindo a expor, a definição de redes neuronais dada por McCulloch e Pitts, foi uma das primeiras formulações matemáticas do conceito de autómato finito. Mais tarde, S.C. Kleene provou o importante teorema que caracteriza a acção dessas redes que se baseia na noção de Evento Regular e que acabámos de enunciar, designando-o de T3. Porque teremos de nos servir destes conceitos quando nos referirmos às teorias de linguagem, vamos agora definir Autómato Finito, mencionando por fim as relações entre redes neuronais e autómatos finitos.

De um ponto de vista intuitivo, um autómato poderá ser considerado como um dispositivo ao qual se podem fazer perguntas e que responde a essas perguntas com um sim ou um não. O número de perguntas que se podem fazer é infinito. O termo pergunta é interpretado, neste contexto, como uma sequência finita e arbitrária de símbolos de um dado alfabeto que se convencionou.

As perguntas serão feitas através de símbolos do alfabeto considerado, inscritos em fitas unidimensionais.

O autómato será dotado de um dispositivo de leitura que pode de cada vez ler um símbolo inscrito num dos quadrados da fita. Em seguida o autómato pode avançar para o símbolo seguinte na fita e lê-lo.

A leitura só é assim possível numa direcção única e termina no fim da fita.

No que diz respeito à constituição interna de um autómato, a nossa descrição visará especificá-lo de tal modo que fique esclarecido aquilo que ele pode fazer, e não propriamente os dispositivos físicos que poderiam realizar o autómato.

O método mais simples, e que é geralmente empregado para fazer essa descrição do ponto que nos interessa, baseia-se no conceito de estados internos.

Definem-se as operações do autómato como determinadas pelos estados estáveis que os elementos que o constituem assumem em épocas especificadas, tal como acontece na teoria das redes nervosas. Esses estados são em número finito.

A máquina lê primeiro um símbolo ou quadrado da fita, e passa então a um estado que pode ser o mesmo ou diferente daquele em que se encontrava. Esse estado dura até ler o símbolo seguinte. Para descrevermos cada uma das acções que são possíveis, basta-nos-á apenas conhecer os estados em que pode encontrar-se e qual é o estado interno que resulta da leitura dos símbolos da fita para cada par de símbolos e de estados internos possíveis.

A resposta da máquina é definida como o estado final especificado para a sua saída.

Para darmos uma forma mais rigorosa a estas ideias, vamos seguir o artigo de Rabin e Scott.⁵⁴

1) É dado um alfabeto finito Σ

É importante especificar todos os autómatos considerados de um modo tal que seja usado sempre o mesmo alfabeto, para que se possam comparar máquinas diferentes.

Muitas vezes considera-se que Σ contém apenas dois símbolos - 0 e 1, mas o número total de símbolos do alfabeto não é importante no que diz respeito à formulação da teoria dos Autómatos.

2) Fita, será definida como sendo qualquer sucessão finita de símbolos de Σ . A fita vazia (sem símbolos) denotada por Λ é também considerada uma fita.

3) A classe de todas as fitas é denotada por T .

4) Se x e y são fitas que pertencem a T , então xy é definido como denotando a fita obtida justapondo ou concatenando as duas sucessões x e y .

5) Estabelecem-se os seguintes axiomas $x\Lambda = x = x\Lambda$ $x(yz) = (xy)z$ para todos os x, y e z em T .

Dado este conjunto de definições e axiomas resulta que T , em conjunto com a operação de justaposição, forma o semi-grupo livre (com unidade) definido sobre o conjunto T .

Definição 1:

Um autômato finito definido em relação a um alfabeto Σ é um sistema $\mathcal{A} = (S, M, s_0, F)$ em que S é um conjunto finito não vazio de estados internos de \mathcal{A} , M é uma função definida sobre o produto Cartesiano $S \times \Sigma$ de todos os pares de todos os símbolos e estados internos incluídos em S - e corresponde à tabela de transição de \mathcal{A} ; s_0 é um elemento de S - o estado inicial de \mathcal{A} ; F é um subconjunto de S , a que pertencem os estados finais de \mathcal{A} .

Seja \mathcal{A} um autômato. A função M pode ser estendida de $S \times \Sigma$ a $S \times T$ por meio de uma definição por recursão como segue:

$$M(s, \Lambda) = s \quad \text{para } s \text{ em } S$$

$$M(s, x\sigma) = M(M(s, x), \sigma) \quad \text{para } s \text{ em } S, x \text{ em } T \text{ e } \sigma \text{ em } \Sigma$$

O significado da expressão $M(s, x)$ é o estado da máquina obtido começando no estado s e fazendo uma leitura sucessiva de toda a fita x , símbolo a símbolo, mudando os estados de acordo com uma dada tabela de transição.

Desta extensão da definição de M resulta a propriedade seguinte:

$$M(s, xy) = M(M(s, x), y) \quad \text{para todos } s \text{ em } S \text{ e } x \text{ e } y \text{ em } T$$

Podemos agora definir o conjunto das fitas às quais o autômato dá uma resposta "sim".

Definição 2:

O conjunto de fitas aceites, ou definidas, pelo autômato representado pelo símbolo $T(\mathcal{A})$, é a colecção de todas as fitas x em T tais que $M(s_0, x)$ está em F .

Definição 3:

A classe de todos os conjuntos definíveis de fitas, em símbolos \mathcal{A} , é a colecção de todos os conjuntos da forma $T(\mathcal{A})$ para certo autômato \mathcal{A} .

Caracterização Matemática dos Conjuntos Definíveis

Um autômato pode ser um dispositivo muito complicado e é útil dispor de uma teoria em que se caracterizem os conjuntos que podem ser definíveis por autómatos.

Com o fim de compreender a natureza desses conjuntos definíveis, foi feita a partir dos trabalhos de McCulloch e Pitts e de Kleene, uma investigação que conduziu a uma caracterização que é matematicamente simples, e que mostra de maneira exacta, quais são as possibilidades e as limitações que resultam de se considerarem apenas autómatos com um número finito de estados internos.

Definição 4:

Uma relação de equivalência R sobre o conjunto T de fitas é invariante à direita se, sempre que xRy for verdade, então também $xzRyz$ o é, para todos os z em T .

Pode fazer-se uma definição análoga da invariância esquerda.

Definição 5:

Uma relação de equivalência sobre o conjunto T é uma relação de congruência, se é invariante à direita e à esquerda.

Se R é uma relação de congruência, então as fórmulas xRz e yRw implicam sempre $xyRzw$. Em consequência disso, se $[x]$ é a classe de equivalência que contém x e $[y]$ é a classe de equivalência que contém y , então poderá definir-se sem ambiguidade o produto das duas classes de equivalência pelo produto

$$[x][y] = [xy]$$

Em termos matemáticos, o conjunto de classes de equivalência é o "semi-grupo quociente de T sob a relação de congruência R " e é uma imagem homeomórfica de T . Há muitas imagens homeomórficas de T diferentes umas das outras. Estudaremos mais interessados nas que são finitas.

Faremos uso no que se segue das relações de equivalência que satisfazem a definição seguinte.

Definição 6:

Uma relação de equivalência sobre T é de índice finito se há apenas classes de equivalência em número finito, sob essa relação.

Teorema I (Myhill) Seja U um conjunto de fitas.

As seguintes três condições são verdadeiras.

(i) U está em \mathcal{S}

(ii) U é a união de algumas das classes de equivalência de uma relação de congruência sobre T e de índice finito.

(iii) A relação explícita de congruência \equiv definida pela condição de que para todos x, y em T , $x \equiv y$ se e só se para todos os z, w em T sempre que zxw esteja em T , então zyw está em U , e inversamente, é uma relação de congruência de índice finito.

Teorema 2 (Nerode) Seja U um conjunto de fitas.

As seguintes três condições são equivalentes.

(i) U está em \mathcal{S}

(ii) U é a união de algumas das classes de equivalência de uma relação de equivalência invariante à direita sobre T e de índice finito.

(iii) A relação E explícita de equivalência invariante à direita definida pela condição de que, para todos os x, y em T , xEy sss para todos os z em T sempre que xz esteja em U , então yz está em U , e inversamente é uma relação de equivalência de índice finito.

(Este teorema implica que o número de classes de equivalência para R é no máximo o número de estados internos de \mathcal{S}).

Corolário 2.1 Se U está em \mathcal{S} , então o número de classes de equivalência sob a relação E é o menor número de estados internos de qualquer autômato que define U .

(Por outras palavras, a relação E leva imediatamente ao autômato mais económico que define U).

Propriedades da Classe de Conjuntos Definíveis

Usando os teoremas que acabamos de expor podem ser definidos a partir deles alguns factos acerca da classe \mathcal{S} .

A classe \mathcal{S} poderá ser caracterizada pelas suas propriedades fechadas sob algumas operações sobre conjuntos de fitas.

Teorema 3: Se x está em T , então $\{x\}$, o conjunto que consiste apenas em x está em \mathcal{S} .

Teorema 4: Se U está em \mathcal{S} então $*U$ está em \mathcal{S} .

Teorema 5: A classe \mathcal{S} é uma álgebra Booleana de conjuntos.

Corolário 5: A classe \mathcal{S} contém todos os conjuntos finitos de fitas.

Teorema 6: Seja \mathcal{A} um autômato. Então $T(\mathcal{A})$ não é vazio s s s \mathcal{A} aceita alguma fita de comprimento menor que o número de estados internos de \mathcal{A} .

Corolário 6: Dado um autômato finito \mathcal{A} há um procedimento efectivo pelo qual se pode decidir se $T(\mathcal{A})$ é vazio, fazendo um número finito de operações.

Este corolário é uma consequência imediata do T6 ter mostrado que há apenas um número finito de fitas que necessitam de ser tentadas para saber se o autômato aceita alguma fita.

É também possível dar uma condição necessária e suficiente simples para $T(\mathcal{A})$ ser infinita.

Lema: Seja \mathcal{A} um autômato com r estados internos. Seja x uma fita em $T(\mathcal{A})$ de comprimento n . Se $r \leq n$, então existem fitas y, z, w tais que $x = yzw$ $z \neq \Lambda$ e todas as fitas $yz^m w$ estão em $T(\mathcal{A})$ para $m = 0, 1, 2, \dots$

Definição 7:

Dois autômatos \mathcal{A} e \mathcal{B} são equivalentes se $T(\mathcal{A}) = T(\mathcal{B})$.

Teorema 7: Dois autômatos \mathcal{A} e \mathcal{B} não são equivalentes s s s há alguma fita, de comprimento menor que o produto do número de estados internos de \mathcal{A} pelo de \mathcal{B} que é aceite por um dos autômatos mas não pelo outro.

Corolário 7: Dados dois autômatos finitos \mathcal{A} e \mathcal{B} há um procedimento efectivo, pelo qual um número finito de operações se pode decidir se \mathcal{A} e \mathcal{B} são equivalentes.

Das definições que demos de redes neuronais e dos elementos que as compõem, resulta que qualquer rede é um Autômato Finito, uma vez que (1) o estado da rede em qualquer instante é definido pelo estado de todos os seus elementos, (2) a transição de um estado para outro é determinada pelo estado da rede no instante precedente e pelo estado de entrada da rede (3). O estado de saída da rede é determinado pelo estado dos efectores. Estas três condições são justamente os elementos essenciais da definição de Autômato Finito.

M. Minsky⁴⁸⁰⁷ estabeleceu o resultado seguinte que completa a especificação das relações entre Autômatos e Redes Neurais:

T - Para qualquer autômato finito, existe uma Rede Neuronal que lhe é equivalente e que o pode simular.

Dispomos assim de uma linguagem formalizada e de um conjunto de resultados que nos garantem que se pode construir uma teoria geral das Redes neuronais

que vamos usar na construção dos modelos dos processos psicológicos.

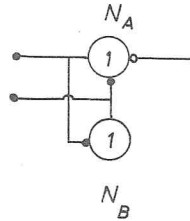
A adequação da formalização matemática, fica dependente de haver ou não, uma correspondência satisfatória entre os estados das redes neuronais e as relações entre fenómenos que se pretendem representar.

Este modelo difere do anterior por ter um "órgão de memória permanente", tal que o modelo não pode ter nenhum instante inicial depois de ter ocorrido o estado 1 de R_A e de R_B simultaneamente.

Se num dado instante ocorrer pela primeira vez, uma associação entre o estado 1 de R_A e o estado de 1 de R_B

$$R_A(t) \cap R_B(t)$$

então o estado 1 de R_B durante o tempo T a partir do instante $T + k$, $k \geq 1$ provocará o estado 1 de R_A no instante $t + k + 4T$.

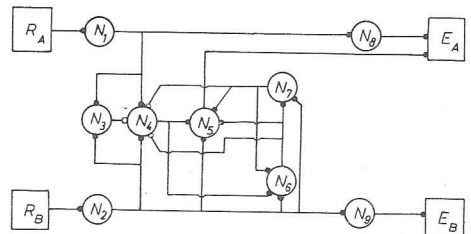
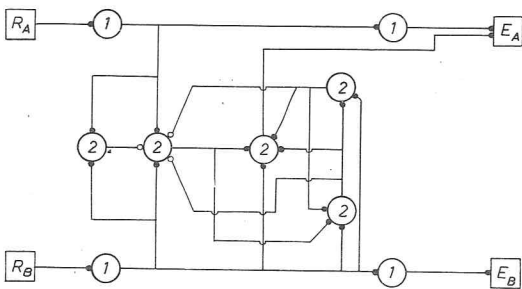


O órgão de memória permanente é constituído de maneira tal que, (se considerarmos as conexões que são especificadas no modelo), se um dos neurónios N_6 ou N_7 esteve no estado 1 num instante t , então, para qualquer instante $t + kT$ ($k \geq 1$) um desses dois neurónios estará activo, mas nunca os dois simultaneamente.

Note-se que o problema da memória será estudado adiante, de outro ponto de vista, obtendo-se soluções em que não é necessária a reverberação em circuitos fechados.

Sabemos do estudo dos Reflexos Condicionados, que apenas depois de um certo número de associações, que ocorrem numa certa sucessão, se pode obter a RC durante um certo lapso de tempo.

Antes de prosseguirmos com a construção de modelos em que ambas as condições são satisfeitas, consideremos as consequências de juntar de maneira similar à especificada para o segundo modelo (no que respeita ao órgão de memória permanente), um órgão de memória temporária, tal que, em $t + kT$ ($k \geq 1$), um dos dois neurónios N_6 e N_7 que constituem o órgão, estará no estado 1, se e só se, (1) tiver ocorrido em t uma associação do estado 1 de R_A e de R_B , e (2) o estado 1 de R_B tiver ocorrido em todos os instantes intermediários entre t e $t + kT - 2$.



t	R_A	R_B	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9	E_A	E_B
t_0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$t_0 + T$	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$t_0 + 2T$	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0
$t_0 + 3T$	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
$t_0 + 4T$	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1
$t_0 + 5T$	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
$t_0 + 6T$	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1
$t_0 + 7T$	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1
$t_0 + 8T$	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
$t_0 + 9T$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
$t_0 + 10T$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
$t_0 + 11T$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Vamos agora descrever um modelo que corresponde à especificação de ser necessário, para que a RC possa ocorrer, que tenha havido um certo número de associações de estados 1 de R_A e de R_B . A condição é rígida, no sentido de as associações terem de ser sucessivas e sem interrupção. O número de associações necessárias é, por uma questão de simplicidade, um número arbitrário, pequeno (6) em comparação com o número de associações necessário para que possam ocorrer respostas condicionadas nas situações experimentais correntes.

Esse modelo tem um "órgão de memória temporário", um "órgão de memória permanente", um "operador de extinção" e outro de "habituação".

O operador de "extinção" inibe N_{16} durante uma unidade de tempo, quando o estado 1 de R_B ocorreu em três instantes consecutivos, sem estar associado ao estado 1 de R_A em qualquer destes três instantes, e desde que N_{16} já tenha entrado no estado 1 para qualquer t , $t < t_i$ (t_i = primeiro instante de qualquer sucessão de 3 instantes do tipo considerado).

"Reforço", no contexto do modelo, pode ser compreendido, do ponto de vista fenomenológico, como a ocorrência de um estímulo que provoca o estado 1 de R_B quando ocorre um estímulo que provoca o estado 1 de R_A , e desde que previamente tenha ocorrido o estado 1 de N_{16} .

Do ponto de vista do mecanismo neurofisiológico, o Reforço consistiria num processo que reduziria a zero o estado de actividade de todos os neurónios do operador de extinção. Nesse operador, à medida que o modelo iria funcionando ir-se-ia constituindo um estado de inibição interna. O Reforço iria inibir essa inibição.

Do estado 0 de N_{16} , durante uma unidade de tempo, em qualquer sucessão possível de três instantes, resulta que o estado de todos os neurónios do operador de extinção é 0 durante uma unidade de tempo - "desinibição interna" do modelo. O estado 0 de N_{16} corresponde ao estado de repouso que, como já dissemos, leva a uma situação em que no caso de ter havido previamente extinção, o RC pode de novo ocorrer.

Os fenómenos de "inibição externa" poderiam ser representados conectando o modelo com outro modelo do mesmo tipo, de tal modo que um estímulo novo provocaria, no instante convencionado, a inibição de N_{16} . Porém, desde que fosse repetido vezes suficientes associado ao estado 1 de R_B , ficaria ele próprio condicionado em relação a R_A - condicionamento de 2ª ordem. O modelo poderia assim tornar-se mais complexo e levar à representação de condicionamentos de ordem ainda mais elevada.

Poderia ainda haver durante a fase inicial de obtenção das respostas condicionadas uma facilitação do estado 1 de N_{16} , que levaria a uma "generalização" da resposta condicionada, seguida ulteriormente de uma "descriminação".

Igualmente poderia obter-se uma indução recíproca desde que certos estímulos fossem associados de maneira que um deles fosse associado a um "Reforço positivo" e outro a um "Reforço negativo", com a condição de haver um mecanismo mais complexo de integração múltipla de reflexos dentro do "espaço de reflexos possíveis", em que seriam definidas também as relações possíveis entre os reflexos.

Além disso poderíamos considerar as respostas condicionadas, não como respostas que dependem de um único efector, mas de um conjunto de efectores, comandados por um conjunto de neurónios com uma complexa estrutura de interações.

Assim os actos condicionados seriam partes de estruturas de acção pré-fixadas no repertório do animal, ou que seriam reorganizadas de acordo com a experiência, de modo que em consequência da transacção com o meio se formaria um novo sistema de relações entre os mesmos actos elementares. Deste ponto de vista, a aprendizagem corresponderia à estruturação a um nível superior de organização.

Cada acto isolado, pertenceria ou poderia em geral estar incluído num comportamento mais complexo.

Reforço parcial – Tendo construído modelos cujo funcionamento corresponde a especificações definidas através de considerações de alguns constructos fundamentais da teoria Pavloviana, procederemos agora à construção de modelos que (1) podem representar a situação de reforço parcial, (2) permitem uma nova interpretação para a extinção e para as condições a que obedece uma nova aprendizagem após a extinção, e que (3) podem representar uma interpretação dos Reflexos Condicionados de Tipo II de Miller e Konorski (ou do tipo 1 de Skinner), (4) podem ser integrados na interpretação anterior.

Nos dois capítulos seguintes procederemos à integração nos resultados obtidos, dos Constructos de Reforço e Ímpeto (Drive) da Psicologia Behaviorística, e a uma interpretação do Instinto de acordo com o ponto de vista Etológico. Poderemos então considerar outros mecanismos de Condicionamento.

Antes disso, vamos prosseguir o nosso estudo com a construção de modelos em que é possível representar Reflexos Condicionados obtidos na situação de Reforço parcial.

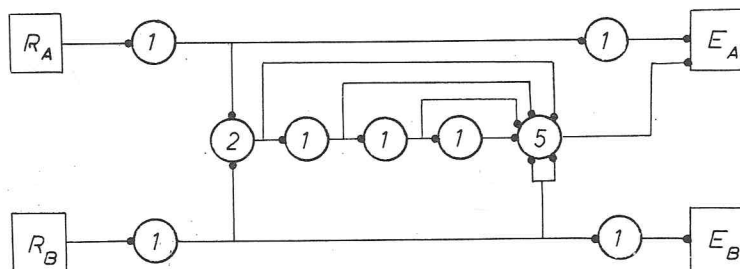
Mantemos a definição de RC que demos inicialmente.

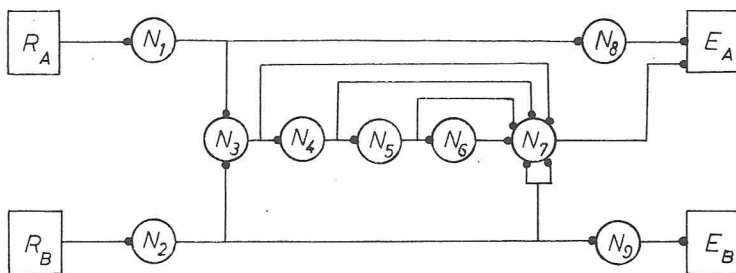
No primeiro modelo, RC será o estado 1 de E_A provocado pela ocorrência do estado 1 de R_B em t , quando no intervalo entre $t-4T$ e t , ocorreram associações entre o estado 1 de R_A e de R_B pelo menos em três instantes.

Como diferença em relação aos modelos que considerámos até agora, em que eram necessárias associações ininterruptas do estado 1 de R_A e de R_B , neste tipo de rede neuronal pode-se obter o RC, mesmo se ocorrer uma interrupção das associações – esta situação pode ser interpretada como uma representação em modelo do reforço parcial.

É imediato que se pode modificar o modelo variando o valor da relação entre o número máximo de associações possíveis, e o número mínimo indispensável para que o condicionamento ocorra.

Neste modelo a "extinção" resultará da ocorrência de menos do que três associações de estados 1 de R_A e R_B nos quatro instantes que precedem imediatamente o estado 1 de R_B . Nesta interpretação não será necessário admitir a existência de um operador de extinção tal como foi feito no modelo 4.





	R_A	R_B	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9	E_A	E_B
t_0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$t_0 + T$	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$t_0 + 2T$	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
$t_0 + 3T$	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
$t_0 + 4T$	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
$t_0 + 5T$	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
$t_0 + 6T$	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1

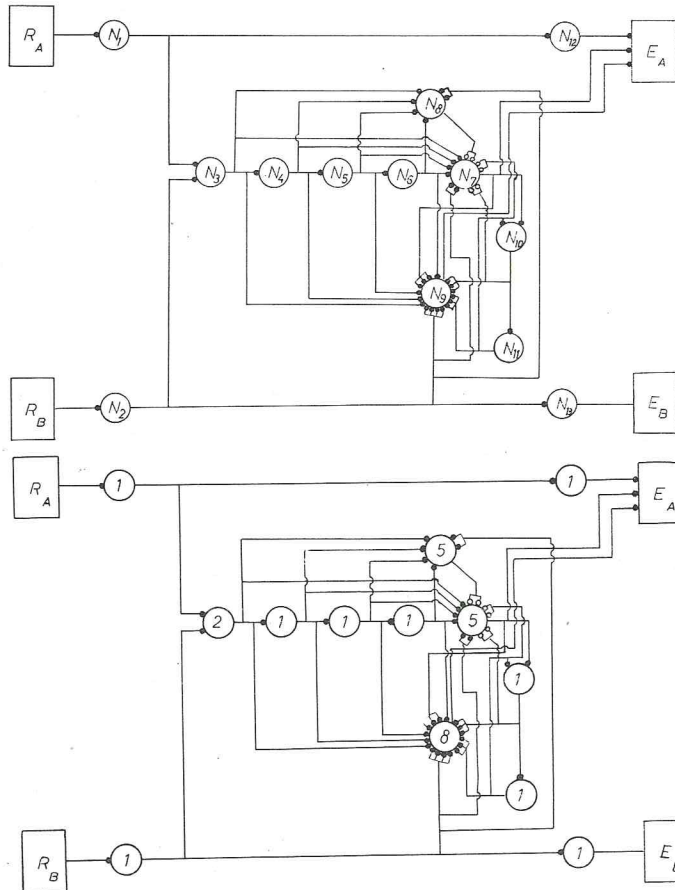
O modelo seguinte é uma transformação do modelo que acabamos de considerar. As condições necessárias para a ocorrência da resposta condicionada, "estado 1 de E_A ", pela primeira vez, são as mesmas que no modelo precedente. A principal diferença resulta de ter sido acrescentada uma unidade de "memória permanente", formada por N_{10} e N_{11} . Da existência destes dois neurónios e de N_7 , resulta que depois de N_6 ter estado no estado 1, o número de reforços (associações entre o estado 1 de R_A e de R_B) necessários para a manutenção do RC é reduzido para um, nos quatro instantes precedentes. Se a extinção ocorre, a partir de então o número de associações necessário para o estado 1 de R_B determinar o estado 1 de E_A passa a ser de 1 nos quatro instantes precedentes.

Este modo de funcionamento está de acordo com o facto observado experimentalmente, que consiste em depois do reflexo condicionado já ter ocorrido alguma vez, passar a ser necessário um menor número de associações para restabelecer o condicionamento.

Este modelo, tal como o anterior, é adequado para representar de maneira simplificada o processo de reforço parcial.

O facto de um condicionamento que se estabelece numa situação de reforço parcial ser mais resistente à extinção que nos casos em que o reforço é dado todas as vezes que o EN ocorre, pode ser explicado por nesse caso se estabelecer uma norma de decisão para a acção, que requer uma menor probabilidade condicional de R_B dado R_A , para que o estado 1 de E_A , venha a ser provocado. Esta situação pode ser representada no modelo por uma estrutura do tipo do órgão de extinção, ou da rede que decide do estado de actividade ou de repouso do neurónio que comanda E_A , no caso do condicionamento corresponder a uma menor probabilidade condicional de R_A dado R_B .

t_0	R_A	R_B	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9	N_{10}	N_{11}	N_{12}	N_{13}	E_A	E_B
t_0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$t_0 + T$	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$t_0 + 2T$	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
$t_0 + 3T$	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
$t_0 + 4T$	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
$t_0 + 5T$	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
$t_0 + 6T$	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
$t_0 + 7T$	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
$t_0 + 8T$	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
$t_0 + 9T$	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
$t_0 + 10T$	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
$t_0 + 11T$	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1
$t_0 + 12T$	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
$t_0 + 13T$	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
$t_0 + 14T$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
$t_0 + 15T$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1



No modelo 4 é de $1/3$, no modelo 5 é de $3/4$ e depois do condicionamento estar estabelecido, de $1/4$.

Miller e Konorski⁴⁷¹ designaram de Reflexo Condicionado de tipo II, as reacções condicionadas de que o exemplo seguinte é paradigma: um estímulo acústico, depois de ocorrer certo número de vezes imediatamente antes da flexão de um membro, quer passiva quer provocada por um estímulo adequado, passa a determinar uma reacção motora desse membro, se esta sucessão de estímulos é seguida de dádiva de alimento.

Este reflexo corresponde a uma situação mais complexa que no RC de tipo I. É no entanto possível dar-lhe uma interpretação de acordo com a teoria Pavloviana, ainda que esta posição não seja aceite por muitos investigadores.

Alguns anos depois das comunicações de Miller e Konorski, Skinner descreveu um outro tipo de reflexo que ocorre numa situação experimental do tipo seguinte: um rato com necessidade de alimento era colocado numa caixa que continha alavancas, aprendia rapidamente a premir a alavanca cujo movimento era acompanhado de uma recompensa alimentar.

As características da situação experimental de Skinner podem ser consideradas como semelhantes às do RC de tipo II, excepto no facto de que o estímulo não é manipulado pelo investigador, estando o animal passivo. Neste tipo de RC é pelo contrário o animal que explora activamente o ambiente. Se ao encontrar um objecto capaz de dar lugar a uma estimulação visual e táctil, inicialmente neutra, o movimenta e este acto é seguido de uma recompensa. forma-se então uma RC em relação a esses estímulos. Um segundo aspecto consiste em o objecto que serve de estímulo visual inicial, ser o mesmo que serve de estímulo para a reacção motora.

Por outro lado, na situação de Miller e Konorski, o estímulo surgia com uma variação nas condições a que o animal estava sujeito, enquanto que nas de Skinner o estímulo estava presente desde o início como um elemento permanente da situação global.

Na interpretação de Miller e Konorski, o alimento seria o EI de uma resposta salivar. O conjunto de estímulos - acústicos e quinestésico {EN, EN'} que ocorre na situação experimental, adquire a qualidade de estímulo condicionado {EC, EC'} da resposta salivar RC, mas que assim, no interior desse reflexo condicionado, formar-se-ia um condicionamento tal que EN passaria a ser EC da resposta de movimento do membro RC'.

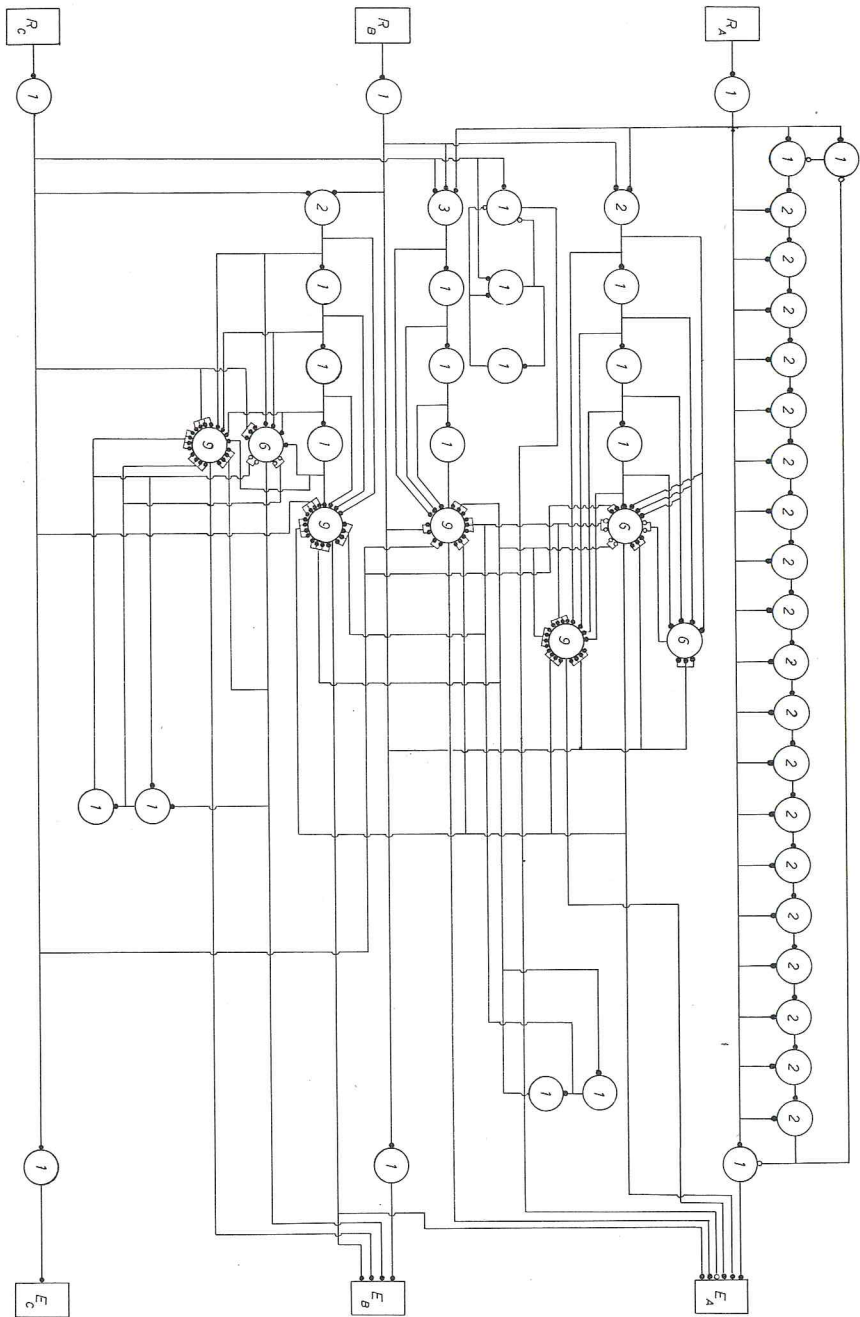
O argumento de Konorski quanto à redutibilidade de uma situação à outra é o seguinte: se numa dada situação experimental, ocorre um movimento que é provocado por um estímulo adequado (Miller e Konorski) ou ocorre um acto exploratório em resposta a um conjunto de estímulos ambientais (Skinner), seguido por um estímulo de reforço em ambas as situações, então surgiria uma resposta condicionada salivar devido ao EC (Miller e Konorski) ou devido a um dos estímulos da situação experimental (Skinner), e estabelecer-se-ia o condicionamento entre um destes estímulos e a resposta motora que precede o reforço e que define uma das condições para que o reforço alimentar seja dado.

Portanto, depois de um número de repetições, dados estímulos da situação global começariam a provocar a reacção motora sendo a manutenção desta resposta dependente do estímulo alimentar.

Não obstante um grande número de pontos em comum, uma análise mais detalhada da situação mostra que a identificação feita por Miller e Konorski é forçada. Nomeadamente o facto de o animal ao receber o alimento satisfazer uma necessidade interna, não é tratado de maneira satisfatória tanto por Pavlov como por Miller e Konorski.

Nas secções seguintes construiremos um modelo que nos permite integrar diferentes tipos de RC, e que mostrará que eles são elementos de comportamentos com uma estrutura muito mais complexa, que inclui a motivação e os mecanismos instintivos, e em certos casos, mecanismos simbólicos.

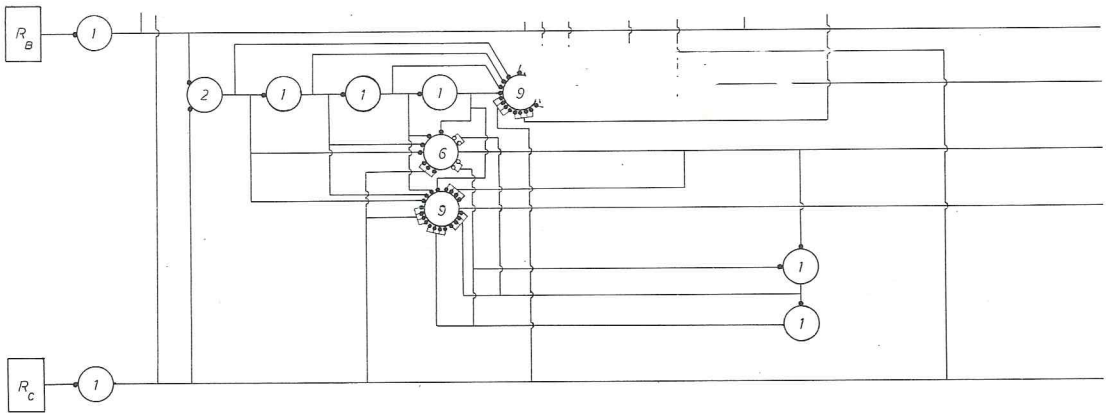
O modelo que vamos apresentar atinge o mesmo nível que o dos modelos nº. 4, 5 e 6, mas representando agora a situação tanto de reforço constante como parcial. A única diferença será que pode representar o Reflexo Condicionado de Tipo II.



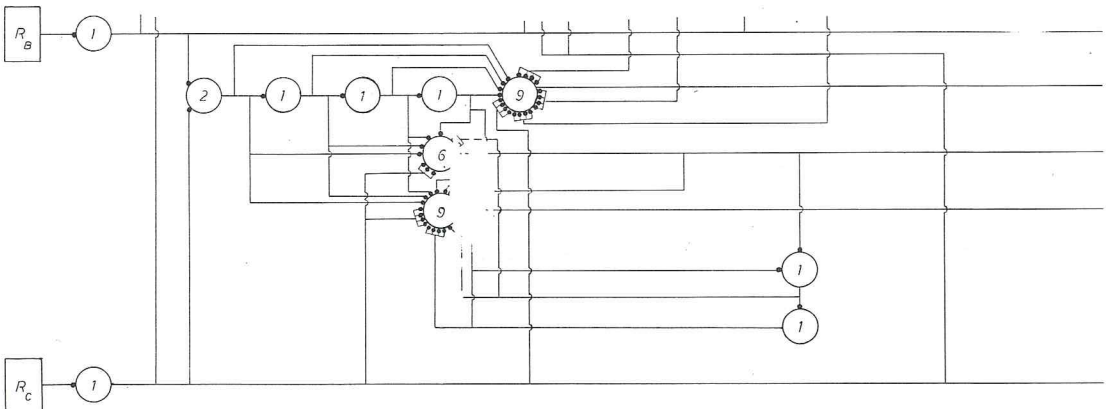
Suponhamos que R_C e R_B correspondem respectivamente aos receptores acústico e quinestésico, e os estados 1 de R_B e de R_C são associados ao estado 1 de R_A , de tal modo que se eles começam a provocar o RC estado 1 de E_A , ocorre simultaneamente um condicionamento entre o estado 1 de R_C e de R_B , e então o estado 1 de R_C adquire a qualidade de provocar o estado 1 de E_B e de E_A .

A rede foi construída de maneira redundante, com o fim de explorar as possibilidades, e este resultado pode ocorrer devido a três processos diferentes (note-se aqui o conceito de redundância de função sem repetição de mecanismos, em contraste com outras soluções propostas adiante para garantir o bom funcionamento de uma rede, apesar dos erros que podem ocorrer nos seus elementos):

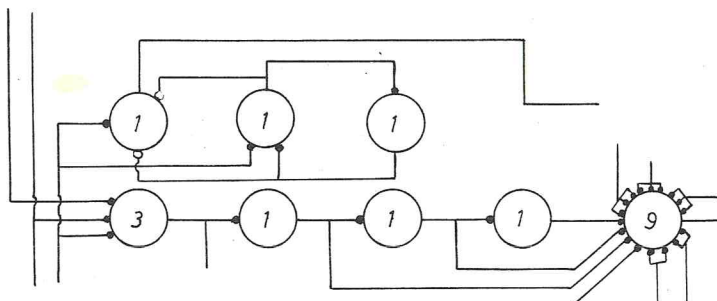
(1) O condicionamento entre o estado 1 de R_C e de R_B ocorre independentemente do estado de R_A , através dos operadores representados a seguir:



(2) O processo de condicionamento entre o estado 1 de R_C e de R_B depende da ocorrência prévia de um condicionamento entre o estado 1 de R_C e de R_A , tal que o estado 1 de R_B provoca o estado 1 de E_A , o que depende do operador representado a seguir:



(3) Seria fácil modificar o modelo de modo tal que por meio do operador :



ocorresse um condicionamento entre o conjunto de estados 1 de R_C e R_B , e o estado 1 de R_A , sem que isso estivesse na dependência do condicionamento prévio entre o estado 1 de R_B e R_A , e de tal modo que o estado 1 de R_C ficaria condicionado a partir de certo número de associações, ao estado 1 de R_B .

Devido à acção do operador que introduzimos no modelo, se o estado 1 de R_C ocorre pela primeira vez e o estado 1 de R_B está condicionado em relação ao estado 1 de R_A , ocorre inibição do estado 1 de E_A durante uma unidade de tempo. Este comportamento do modelo reproduz a inibição externa de Pavlov. Se ocorrem mais associações entre os estados 1 de R_C e de R_B obtem-se então um condicionamento de segunda ordem do estado 1 de R_C , em relação a E_A .

Capítulo VII

Reflexos Condicionados Motivação e Afectos

Muitos dos comportamentos investigados em situações experimentais, podem ser explicados a partir de "necessidades internas", de tipo fisiológico⁵⁶³, isto é, de desvios do estado do Meio Interno, que os resultados desses comportamentos tenderiam a corrigir.

No modelo, que vamos apresentar em seguida, esse tipo de motivações para a acção é integrado com os mecanismos de condicionamento que temos vindo a discutir. A intervenção da motivação foi explicada, a partir de Thorndike e Hull, como sendo devida a um reforço, que estaria ligado à redução do estado de necessidade interna. No entanto existem outras motivações que, ao contrário das fisiológicas, não são de tipo homeostático, não têm carácter cíclico e estão dependentes de uma apreensão muito mais detalhada e complexa do estado do Meio Externo. Referimo-nos nomeadamente às motivações emocionais, primárias e secundárias.

Igualmente, a partir dos trabalhos de Berlyne, têm sido descritos comportamentos, que seriam explicáveis por uma motivação de "curiosidade" e que Hebb explicou através da acção do S. Reticular. Outras motivações, poderiam estar relacionadas com processos cognitivos, nomeadamente as que dependem da novidade ou da complexidade de uma configuração de estímulos.

Vamos descrever alguns destes mecanismos, embora omitindo neste momento o problema dos fenómenos conscientes de emoção, que será tratado quando nos referirmos aos processos cognitivos.

REPRESENTAÇÃO EM MODELO, DAS RELAÇÕES ENTRE AS MOTIVAÇÕES BÁSICAS E OS MECANISMOS DE CONDICIONAMENTO

Se numa rede neuronal, existem receptores que são actuados por estados do Meio Interno, poderemos descrever da maneira seguinte um Estado de Necessidade Interna: (1) o Estado de Necessidade Interna (NI), resultará dos valores assumidos por certas variáveis do Meio Interno, estarem fora de um intervalo definido pelos limites de actividade de certos receptores, da rede nervosa, que contactam com o Meio Interno. (2) O Estado de Necessidade Interna, é definido como um estado que pertence ao conjunto de estados possíveis dos elementos da rede, em que um dado conjunto de receptores do Meio Interno é actuado de acordo com a condição (1).

De um ponto de vista psicofisiológico, seria satisfatório, que a rede fosse construída de tal modo, que, dentre o conjunto de estados dos efectores em transacção com o Meio Externo e Interno, quando existisse um NI, o subconjunto de estados possíveis dos efectores fosse tal que, dentro de circunstâncias a especificar, aumen-

tasse a probabilidade de que a transacção entre a rede e o Meio Externo e Interno, desse lugar a um comportamento tendente a conduzir, num curto lapso de tempo, a uma situação em que não ocorresse qualquer dos conjuntos de estados dos receptores, que servem para definir ENI. Este comportamento seria designado de comportamento motivado.

Vamos agora construir redes capazes de representarem o comportamento motivado, e que vêm permitir a introdução de novas interpretações no mecanismo dos Reflexos Condicionados, nomeadamente no conceito de Reforço, em que um dos mecanismos possíveis é, além do Pavloviano, o de Redução de Necessidade Interna (que foi desenvolvido principalmente pela Escola Behaviorística Americana), e que tem íntimas relações com os mecanismos de regulação e de homeostase interna e externa.

Os princípios gerais a que obedecem estas redes são:

(1) Os Reflexos Condicionados, que levam à saciação de uma Necessidade Interna, dependerão de um menor número de associações, durante o tempo em que essa necessidade durar. (2) Os estímulos, de que esses condicionamentos dependem, serão recebidos de maneira preferencial. (3) Se um dado estado dos efectores tem como resultado uma Redução de Necessidade Interna (RNI), o número de associações para esse tipo de estímulo será menor a partir de então.

Introduzimos aqui uma primeira variação fundamental, nos princípios dentro dos quais os modelos têm até agora sido por nós construídos: faz sentido construir uma rede com cadeias neuronais, em que é possível ocorrer erro em qualquer instante do seu funcionamento (o erro é neste momento definido assimetricamente como a transformação de 1 em 0; a transformação de 0 em 1 não é admitida).

Faz também sentido - porque isso corresponde ao nosso conhecimento da anatomia do Sistema Nervoso, aos resultados do estudo da actividade de células isoladas e também dos processos de vicariação - fazer-se uma construção, em que diferentes conjuntos de neurónios funcionem em paralelo, actuando sobre um mesmo neurónio final, cada uma delas com uma probabilidade de erro conhecida.

Com esta construção em paralelo, ou uma construção multiplex como foi proposto por von Neumann,⁵⁰⁸ pode-se reduzir a probabilidade de erro no cálculo de uma certa função, tanto quanto se desejar, até um dado limite (que depende da probabilidade de erro no último neurónio da cadeia), se se puder dispor do número de neurónios que se quiser, e cada um for de tipo conveniente.

Se construirmos um modelo, com unidades de condicionamento em paralelo, a motivação pode intervir no processo de condicionamento (1) aumentando a probabilidade de uma resposta correcta, se a entrada em funcionamento numa das cadeias em paralelo depende da existência de um estado de motivação (entendido como NI), (2) através da Redução de Necessidade Interna (RNI), de que resulta também um aumento do número de unidades em paralelo que concorrem para o funcionamento de uma mesma unidade final. A RNI pode ser interpretada como um Reforço, que a saciação da NI dá ao acto que determinou a RNI.

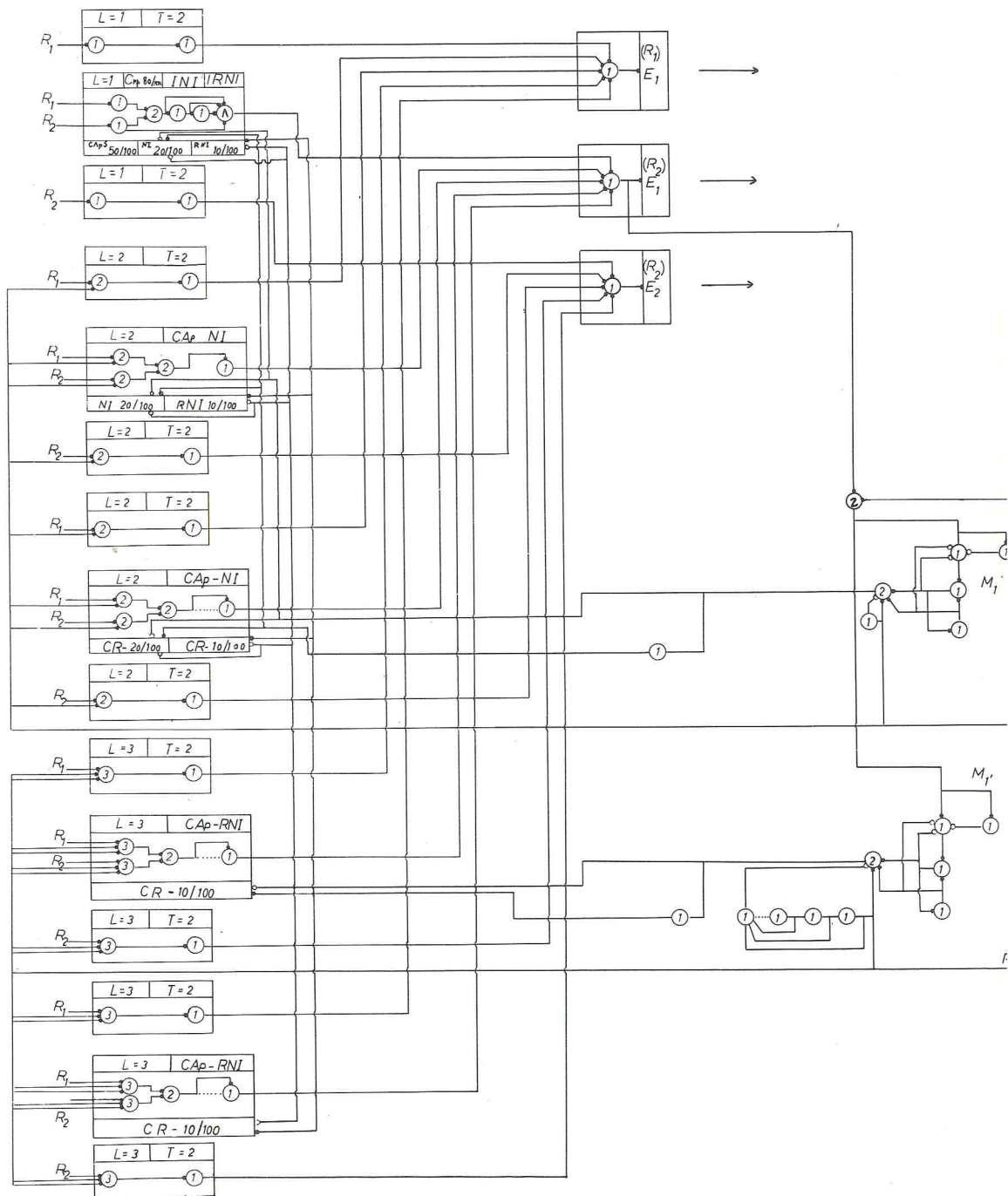
Na figura seguinte vemos em primeiro lugar uma cadeia de condicionamento do tipo usado em modelos apresentados, e cujo primeiro neurónio tem um limiar 1 e cuja especificação de condicionamento é (como exemplo) de 80 associações em 100 unidades de tempo sucessivas. A manutenção do condicionamento e o recondicionamento depois da primeira extinção, é possível com 50 associações nas 100 unidades de tempo precedentes. Dada a existência de uma NI correspondente ao reflexo, a especificação inicial sofre mais uma redução. Então teríamos 20 em 100, e depois que o estado 1 dos efectores correspondentes fosse associado a uma RNI, teríamos 10 em 100. (Estas cadeias e as seguintes são representadas apenas simbolicamente sob a forma de blocos).

A única dificuldade da construção provém do elevado número de sinapses necessárias. No entanto, esse número é ainda muito inferior ao que realmente se observa nas células nervosas.

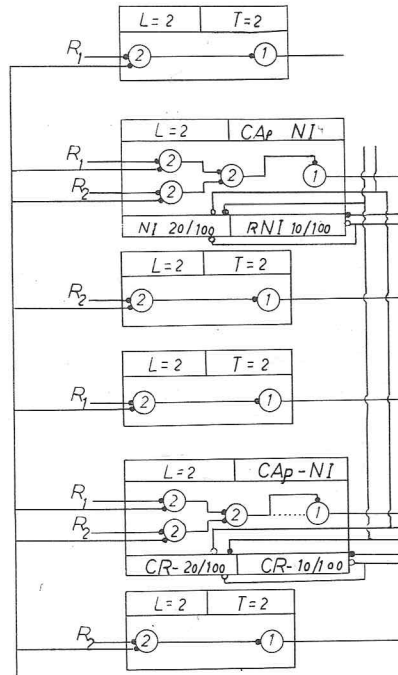
Poderia obter-se uma simplificação, se se atribuísse um valor diferente à quantidade de excitação de cada sinapse, de acordo com a sua distância ao longo da membrana celular até ao hilo axonal, que seria ainda ligado a uma latência propor-

cional à distância, para a acção sobre o hilo axonal. A memória de curta duração, poderia exprimir-se por uma função em que o valor efectivo da excitação dependeria das sinapses e de intervalos de tempo contados a partir de um dado estado. No entanto, a este nível de descrição, a complexidade do tratamento matemático aumenta, dificultando a análise dos sistemas.

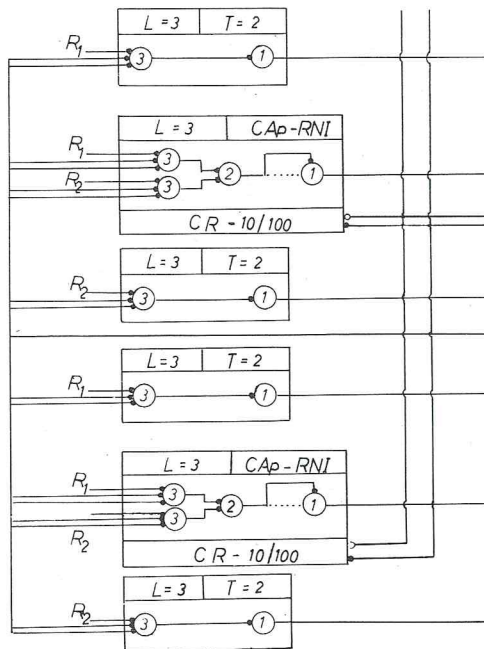
Um cálculo com essas características será esboçado num capítulo especialmente dedicado às novas possibilidades criadas por modificações das convenções.



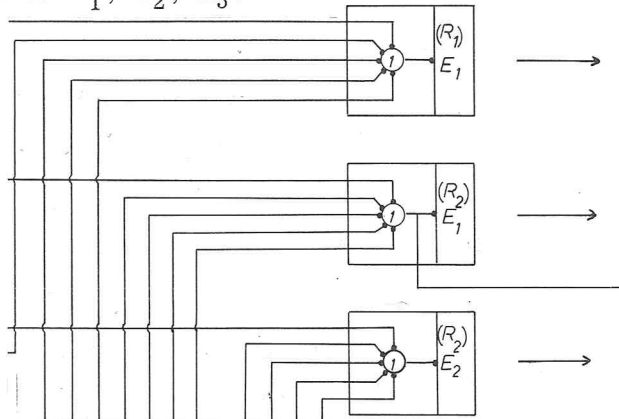
A figura seguinte, especifica um outro bloco constituído por cadeias de neurónios que intervêm no processo de condicionamento e cujo funcionamento depende da existência de NI ou de RNI.



Bloco com cadeias de neurónios que intervêm no processo de condicionamento e cujo funcionamento depende da RNI.



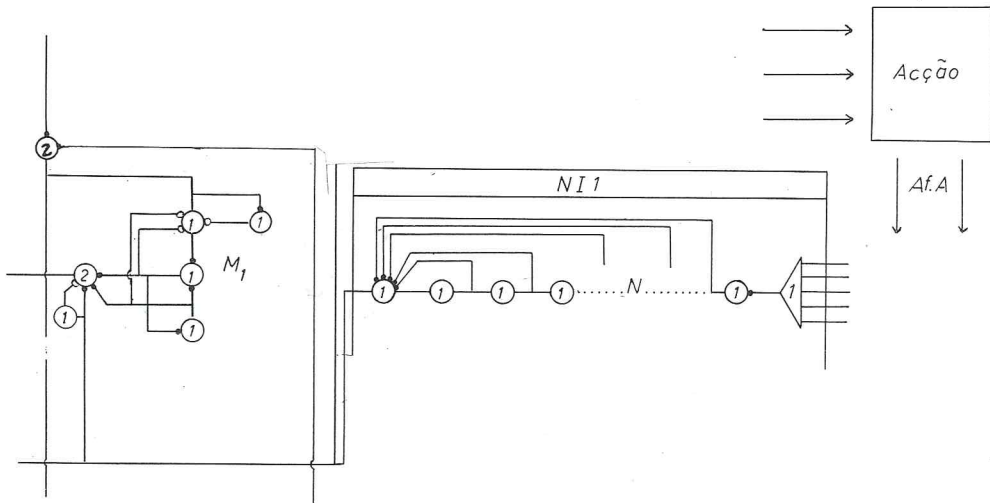
Estes três tipos de blocos actuam em paralelo os neurónios de que depende o estado dos efectores E_1, E_2, E_3 .



Da existência de variáveis do MI, que assumem valores tais que as condições necessárias para a acção dos receptores do órgão detector de NI são satisfeitas, resulta que o limiar dos neurónios iniciais do conjunto de cadeias neuronais que compõem o segundo bloco pode ser atingido, e ainda que, em consequência disso, o número de associações necessárias para a manutenção do RC é reduzido.

Uma memória especial, MI, preserva esta informação para o futuro e assim baixa permanentemente o número de associações necessárias.

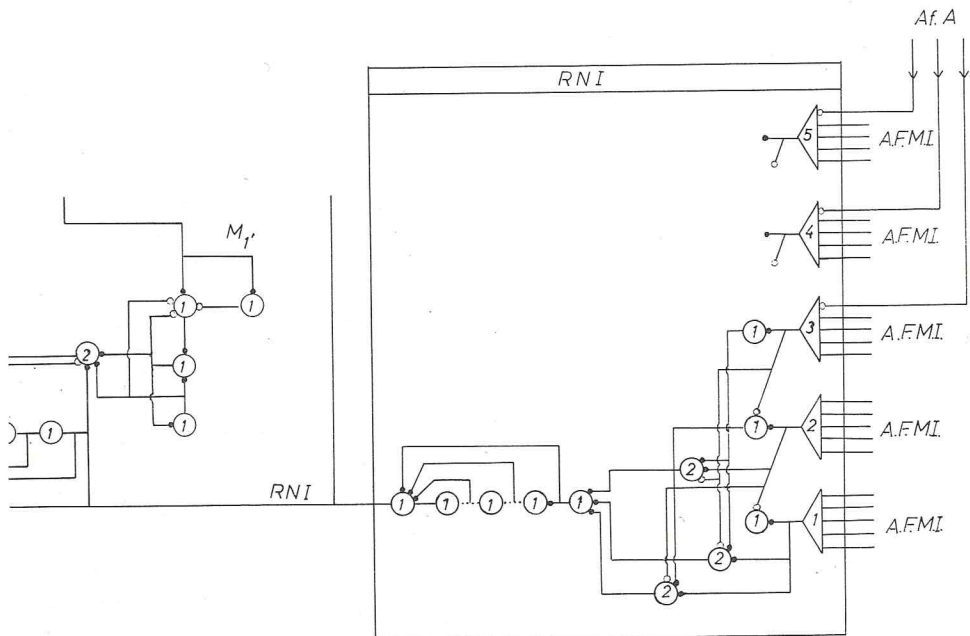
Os blocos da direita na figura seguinte, representam os operadores que realizam a detecção de uma NI e o registo em que a informação referente a esses estados é conservada, para ser usada em processamentos ulteriores.



As acções dos efectores, que provocam variações no meio interno que conduzem a uma RNI, determinam, de maneira semelhante ao que se passou no caso anterior, que o limiar dos neurónios iniciais do terceiro conjunto de cadeias possa ser atingido, e seja ainda mais reduzido o número de associações necessárias. Uma memória especial preserva esta informação para o futuro.

Na figura seguinte, os blocos situados à direita representam os operadores que detectam a Redução de Necessidade Interna e o registo dos neurónios, em que a informação referente a estes estados é preservada para utilização futura.

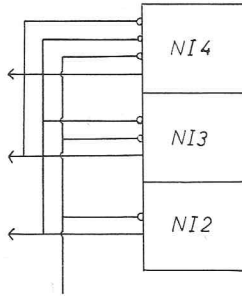
M' e M'_1 são assim os órgãos de que depende a memória da associação entre o estado de actividade de um effector, de um estado de NI ou ainda de RNI e de uma certa configuração de estímulos do ME.



Passa-se pois aqui, ainda um outro fenómeno que é o de certos estímulos poderem ser ligados a uma NI e a uma RNI, e essa aprendizagem relacionada com comportamentos motivados, ser preservada e ser distinta da aprendizagem ligada directamente aos comportamentos.

No modelo, os órgãos de NI estão organizados hierárquicamente. A hierarquia mais elevada corresponde aos menores, e é tal que, em cada momento, só um dos órgãos de NI pode estar activo.

Temos assim um outro mecanismo de selecção preferencial dos receptores, de acordo com a NI, que será discutido ulteriormente.



A economia do modelo poderia ser melhorada se, para além da acção da NI e RNI, considerássemos também a existência de um selector de entradas cujo funcionamento define um "condicionamento perceptivo" de tipo especial, que não acarretasse qualquer comportamento imediato. Este tipo de processamento, será discutido mais tarde ao tratarmos dos diferentes níveis de processamento de informação, implicados na percepção e nos processos cognitivos.

O pré-condicionamento sensorial, designação que é dada a estes fenómenos, é conhecido desde os trabalhos de Brogden e Karn. Já foram estudados experimentalmente alguns processos neurofisiológicos relacionados com ele, como referimos no capítulo em que descrevemos alguns resultados do estudo dos Reflexos Condicionados do ponto de vista electrofisiológico. Estes mecanismos têm grande importância teórica, por poderem servir de paradigma para os processos de que dependem os fenómenos cognitivos e os da linguagem.

As construções que usámos neste modelo, têm ainda o aspecto positivo de aumentarem a probabilidade de ocorrência do comportamento que corresponde às "necessidades". Entretanto, os comportamentos independentes da necessidade em causa, só funcionam através dos primeiros blocos, e têm portanto uma menor probabilidade de ocorrência.

Este modelo sugere assim a existência de um mecanismo adaptativo mediado por uma selecção, uma espécie de "selecção natural do mecanismo predominante, por meio do erro" e da eliminação dos actos irrelevantes num certo contexto.

De outro ponto de vista, o preço nas dimensões do modelo implicado pela redundância, pode ser atenuado, desde que na construção, tal como foi verificado experimentalmente em relação às áreas associativas, uma mesma cadeia seja capaz de processar mensagens de diferentes tipos, ou até diferentes modalidades sensoriais. O modelo sugere que o estado de motivação pode intervir facilitando os processamentos relacionados com as necessidades então existentes.

Este sistema é auto-regulado, no que se refere ao Meio Interno e a certos aspectos do Meio Externo. Além disso, podem introduzir-se modificações tais que ele mantenha sob controle certas variáveis do Meio Externo, e que a referência para essa regulação não seja fixa, e dependa do estado do Meio Externo.

O modo de funcionamento do modelo que acabamos de estudar, e que diz respeito às relações entre os Reflexos Condicionados e as Motivações básicas, vai permitir-nos interpretar alguns resultados da investigação comportamental e psicofisiológica, referentes à aquisição da capacidade de reagir a certos estímulos não directamente relacionados com uma resposta condicionada, mas sim com um estado de Motivação.

487,605,606

O Ímpeto (Drive) e as Motivações, quer as inatas quer as adquiridas, participarão assim na organização de um novo sistema de relações entre estímulos e comportamentos.

Além do efeito de reforço positivo, que uma modificação do estado do animal no sentido de uma redução do Ímpeto, por diminuição de uma necessidade interna, traz às respostas de que depende essa redução, deve ainda mencionar-se o efeito de re-

forço negativo, que ocorre quando uma resposta leva a um aumento brusco e intenso do Ímpeto ou da Motivação. Este efeito negativo, devido ao aumento do Ímpeto ou da Motivação, não ocorre sempre, ao contrário do que afirmam certos psicólogos do comportamento. Pelo contrário, foi observado experimentalmente que o aumento de certos Ímpetos ou Motivações pode ter um efeito de reforço⁴⁴⁶ positivo.

Continuando a análise dos conceitos psicológicos relevantes para o estudo da conduta, devemos notar que a capacidade de desencadear um comportamento dirigido para um certo objectivo, não depende exclusivamente do Ímpeto ou do estado de Motivação, considerados isoladamente da situação de estimulação, a não ser em certos casos particulares de comportamentos instintivos – um exemplo extremo de independência em relação aos estímulos é dado pelas "Reacções em Vazio" (Leerlaufreaktionen) em que um comportamento instintivo ocorre mesmo que a configuração dos estímulos do Meio Externo não active o Mecanismo Inato de Libertação. Um exemplo de independência relativa é dado pelas "Reacções Desviadas" (Übersprungetreaktionen), em que um dado comportamento instintivo que não ocorre há muito tempo, por não terem surgido as configurações de estímulos do Meio Externo capazes de o desencadear, surge em resposta a uma configuração de estímulos que noutras circunstâncias daria lugar a uma reacção diferente.^{427, 622, 624}

Em condições normais, só em presença de certas configurações de estímulos tanto do Meio Externo como Interno, é que um estado de Motivação pode provocar uma resposta dirigida para um objectivo, que estará relacionado com esses estímulos.

É no entanto uma atitude vulgar, em certas correntes de psicologia clínica e mesmo laboratorial, a de atribuir ao Impeto e às Motivações a capacidade de por si só provocarem respostas.

Uma análise mais adequada das situações, mostra, em geral, que os estímulos que despertam um Impeto ou uma Motivação, são efectivamente usados como informação que orienta o comportamento para a realização de um certo objectivo.

Por outras palavras, as Motivações consideradas isoladamente, não podem ter um papel de orientadores do comportamento, mas apenas o de impulsadores.

Só ao nível dos organismos mais simples se poderá adequadamente falar de Motivações secundárias ligadas a comportamentos, cujo paradigma é dado pelos Reflexos Condicionados, e nos quais as Motivações básicas participam através de uma acção de reforço. Em certos casos será necessário recorrer a motivações, que foram elas próprias adquiridas, para explicar esses processos de aprendizagem que dizem respeito às Motivações Secundárias.

Aquilo que é adquirido por aprendizagem, em relação com as Motivações Secundárias, será mais apropriadamente designado de Hábito. Os Hábitos serão estruturas complexas de reacções a configurações de estímulos, tanto do Meio Externo como do Meio Interno.

Motivações Afectivas

Brown, a quem se deve a distinção entre o papel exercido pelas configurações de estímulos que orientam os comportamentos, e os estados de motivação tomados apenas como impulsadores para a acção, procurou aplicar este tipo de explicação, às Motivações adquiridas pelos seres humanos em relação a objectos ou a situações complexas.

A explicação que Brown propõe, é a de que em consequência da adesão aos valores e à cultura de um grupo social, a privação de certos objectos ou de certas situações seria ligada a um estado afectivo desagradável, cuja redução teria o papel de reforço.

Situações ou estímulos que significam falta de afecto, ou falta de prestígio, falta de dinheiro, falta de segurança política, etc. poderiam ter a possibilidade de actuar como se se tratasse de uma Motivação primária de ansiedade.

A redução de uma Motivação, serviria de reforço para os actos tendentes a controlar situações vividas como desagradáveis. Por outro lado, a existência de uma

Motivação, faria com que aumentasse a frequência de ocorrência desses actos, ou a preponderância relativamente a outros comportamentos.

Esta atitude teórica é no entanto inadequada em relação ao homem, na medida em que os actos adaptativos, com esse grau de complexidade, envolvem processos ao nível cognitivo, que não podem ser explicados por um esquema teórico tão elementar.

A redução de uma Motivação por satisfação das necessidades internas, está geralmente ligada no homem a uma experiência subjectiva agradável. A experiência psicológica mostra que o mesmo acontece em relação a muitas situações em que, pelo contrário, por dificuldades na satisfação das Necessidades Internas as Motivações tendem a aumentar em grau moderado.

Este facto permite interpretar certos processos de aprendizagem como devidos a um reforço, constituído não por uma redução da Motivação, mas pelo contrário, por uma variação do estado afectivo,⁶⁸² vivenciado como agradável, quer a Motivação tenha aumentado quer tenha diminuído.

Hebb,^{272,273} a quem se deve esta interpretação, retoma a posição defendida por Brown, de que a orientação para um dado objectivo depende de uma configuração de estímulos tanto do Meio Externo como do Meio Interno e não apenas da Motivação.

A Curiosidade como Motivação

Vimos já que os estímulos sensoriais têm, por um lado, (1) o papel de sinais que servem de orientação para o comportamento, o que depende de processamentos realizados nos sistemas sensoriais específicos, e por outro, (2) uma acção sobre o sistema de regulação da vigilância e da atenção, que é constituído, como já mencionámos, pelo Sistema Reticular do Tronco Cerebral que exerce um efeito tónico, difuso, de facilitação ou de inibição, e pelo Sistema Reticular Talâmico que exerce um efeito mais específico e circunscrito.

Do ponto de vista da acção facilitadora ou inibidora, há certas analogias entre a acção do S.R. e o papel das estruturas de que dependem as Motivações.⁴¹³ Do ponto de vista dos mecanismos de aprendizagem, sabemos que os processos de condicionamento dificilmente ocorrem sem que haja um ímpeto para a acção. Os estudos neurofisiológicos mostraram que a Reacção de Alerta e a Reacção de Orientação (Pavlov), são condição para que o processo de condicionamento se inicie. Podemos por analogia falar de uma Motivação de Curiosidade,^{46,47} como faz Berlyne.

Do ponto de vista fisiológico, o papel facilitador ou inibidor do S.R. depende da interacção sináptica, quer no corpo celular quer nas arborizações dendríticas, e possivelmente nas ramificações axonais. A activação reticular baixa ou eleva o limiar de resposta aos estímulos específicos.

A interpretação de Hebb é de que, se a reacção do S.R. é moderada, nesse caso o aumento do estado de activação exerce um reforço positivo. Pelo contrário, se o estado de activação prévio já for muito intenso a activação exerce um efeito de reforço negativo.

Sem aderirmos à interpretação de Hebb, em que se supõe que o estado afectivo agradável ou desagradável depende do nível absoluto de activação do S.R., esta hipótese permite explicar a ocorrência de um impulso ou de uma motivação para a exploração do ambiente, que poderíamos genericamente designar de curiosidade, que em muitos casos não está ligado a uma Necessidade Interna bem definida.

Esta hipótese permite também explicar o carácter de reforço, que em certas situações um estímulo novo pode adquirir, ou ainda o facto de os Processos Cognitivos poderem ter um papel de reforço positivo.

Efectivamente, o facto de os processos de nível mais elevado darem por si próprios lugar a um estado afectivo agradável ou pelo contrário desagradável, poderia ser devido a uma reafirmação do Cortex para o Sistema Reticular.

A interpretação de Hebb, tem interesse ainda porque tende a refutar que o efeito de reforço esteja ligado necessariamente a uma redução de ímpeto ou de uma necessidade interna.

As experiências de Olds, permitem concluir que a estimulação dos Núcleos do Septo⁵¹⁶ e de outras regiões do Sistema Límbico,⁵¹⁴ dão lugar a um comportamento que permite inferir, que se acompanham de estados afectivos agradáveis enquanto a estimulação noutras zonas como por exemplo, em certos casos o Hipocampo ou os Núcleos Amigdalinos, se acompanha de um estado afectivo desagradável.⁵¹⁵ As experiências de Heath, realizadas em seres humanos, confirmam as interpretações de Olds. Estes comportamentos, ocorrem em situações em que as necessidades básicas estão satisfeitas, e permitem portanto fazer a inferência, de que certas configurações de estímulos se acompanharão de estados de activação de conjuntos de centros nervosos de que depende o estado afectivo, independentemente das necessidades básicas. O animal, ao auto-estimular-se, não procura portanto uma satisfação de um estado de necessidade interna.

Pelo contrário, a estimulação de diferentes zonas do hipotálamo ou do Sistema Límbico pode também dar lugar a reacções semelhantes às que ocorrem nas condições normais da adaptação ao ambiente, em presença de certos estímulos, em situações em que existe uma necessidade interna.

Nestas reacções ligadas à satisfação das necessidades biológicas e aos núcleos básicos dos instintos, o tipo de reacção afectiva é diferente conforme a zona activada, como podemos inferir a partir da diferenciação altamente complexa dos estados afectivos que os seres humanos podem vivenciar.

A característica de especificidade das Motivações, não resulta exclusivamente do estado afectivo, mas sim das relações entre os elementos do conjunto perceptivo-motor e do estado do sistema de regulação dos Afectos no seu conjunto.

É interessante notar, neste contexto, que para explicarem o papel que atribuem aos afectos e às emoções, tanto a psicanálise¹⁸⁵ como a escola comportamental, esta última com raras excepções como a de Tolman,^{626,627} interpretam os estados afectivos como um potencial ou uma energia que impulsiona o sujeito para a acção.

Uma breve reflexão sobre as relações entre o estado afectivo e os comportamentos adquiridos, mostra-nos que as circunstâncias em que ocorre um afecto, fazem com que se torne possível a ocorrência de uma resposta, ou que uma resposta se torne mais provável ou pelo contrário menos provável. Do ponto de vista do S.N., de cujos elementos dependem as decisões da acção, a probabilidade de ocorrência de certas respostas neuronais e a intensidade dessas respostas, surgem-nos como dependentes da intensidade dos estímulos sensoriais ou das configurações dos estímulos ou do efeito facilitador exercido por exemplo pelo Sistema Reticular ou pelo contrário da sua acção inibidora.

Nas condições de funcionamento normal, não é provável que haja uma modificação significativa do funcionamento do S.N., considerado a nível energético, ao passar-se de um estado de neutralidade afectiva para um estado de intensa emoção.

Pelo contrário, é a informação, quer sobre a situação actual quer sobre os resultados obtidos em situações idênticas ocorridas no passado, que exerce efeito facilitador ou inibidor sobre as respostas.

Parece mais razoável admitir que certos tipos de experiência afectiva estão ligados a mecanismos neuronais, que fazem com que aumente ou diminua a probabilidade de certas respostas, mas do ponto de vista do S.N., tomados como mecanismos neurofisiológicos, não diferem significativamente de outros tipos de processamento de informação a nível neuronal.

Sabemos, por exemplo, que a estimulação de uma estrutura cortical cerebral, pode constituir um reforço para um processo de aprendizagem, análogo ao que poderia ser exercido por um estado afectivo.

A interpretação que defendemos é a de que as motivações quer fisiológicas quer emocionais, quer de curiosidade ou até cognitivas exercem a sua acção como informação que é tomada em conta nas decisões.

Experiências de Andersen¹⁷ bem como de Naka, Kobayashi e Ono⁵⁰⁴ permitiram estabelecer correlações entre as descargas neuronais no Núcleo Hipotalâmico Mediano e na região lateral do Hipotálamo e o comportamento alimentar. As descargas neuronais nesta zona eram influenciadas por estimulação do Núcleo Amigdalino, do Septo, e ainda do Globo Pálido e da Calote Mesencefálica.

Os estudos de Olds e Olds, mostraram o efeito de reforço positivo obtido em experiências de auto-estimulação, quando os eléctrodos estavam implantados nos Núcleos do Septo, e as reacções de evitamento da estimulação quando os eléctrodos estavam implantados nos Núcleos Amigdalinos.

As experiências de Grastyán²¹, Adey², Yoshii, e outros que já mencionámos, mostram que as reacções no Hipocampo durante os processos de aprendizagem, estão ligadas à actividade da investigação, o que é concordante com a concepção de que dessa actividade resulta o ímpeto para a exploração do ambiente, o que foi proposto por Hebb também em relação ao S. Reticular.

Do ponto de vista dos modelos, para a representação dos estados afectivos considerados sob o ponto de vista da sua participação nos processos de aprendizagem, não é necessário mais do que uma transposição dos mecanismos que já foram considerados em relação às motivações biológicas.

Em relação à Percepção e à Memória, o modo como se pode fazer a integração entre estes processos e os estados afectivos, será discutido quando tratarmos dos modelos da percepção visual. Os problemas levantados pela representação em modelo dos afectos que correspondem a um conjunto de relações mais complexas entre o organismo e o meio, serão discutidas no capítulo sobre os processos cognitivos.

A transposição para modelo das teorias fisiológicas da emoção é também imediata não levantando, no modo como as teorias psicológicas são convencionalmente formuladas, qualquer problema novo.

O mesmo se passa em relação às situações que se caracterizam por se estabelecer uma ligação condicionada temporária entre certos estímulos e os estados de funcionamento do S.N. que correspondem às funções afectivas.

Capítulo VIII

Comportamentos Inatos

Ao considerarmos os mecanismos dos reflexos condicionados e a sua integração com os comportamentos motivados, vimos que, em relação ao homem, era inadequada uma análise da situação exclusivamente em termos reflexológicos. Os conceitos de Estímulo, Resposta, adquirem outra significação, se os virmos no contexto da situação de transacção entre o organismo e o meio, o que implica a consideração de um sistema de relações, a que corresponde um conjunto de modos de reacção capazes de serem organizadas em esquemas complexos, que dependem da experiência do indivíduo, e implicam a existência de processamentos de nível mais elevado.

Toda a discussão que fizemos até agora, diz respeito aos organismos filogeneticamente menos evoluídos, em relação aos quais dispomos de dados experimentais. Ao passarmos para o caso do homem, tornar-se-á necessário introduzir novos pontos de vista, que serão expostos na secção referente aos Processos Cognitivos.

No entanto, a construção teórica que fizemos, será integrada nas interpretações que daremos adiante aos Processos Cognitivos. Por exemplo, mesmo ao nível dos actos elementares de tipo reflexo, que têm sido objecto de estudo neurofisiológico, observam-se muitas vezes sucessões estereotipadas de respostas desencadeadas por certos estímulos. Essas sucessões têm uma estrutura bem definida, isto é, embora haja variações, devidas a factores que podem ocorrer na transacção entre o organismo e o meio, os diversos factos, que ocorrem conforme as circunstâncias, pertencem a um certo esquema único, ou fazem a transição entre esse e outros esquemas.

Pode falar-se de estereotipia nestes casos, mas apenas em relação à estrutura que é constante para um certo comportamento global, e não em relação às sucessões individualizadas de actos, que esses variarão com as circunstâncias, ao contrário do que é corrente ler-se em interpretações etológicas dos comportamentos.

A estrutura de um dado comportamento, dependerá daquilo que é invariante nas diversas configurações de estímulos. A variação dos actos elementares integrados por essa estrutura, será por sua vez devida à ocorrência de certos estímulos ou configurações de estímulos, em certos casos e não em outros.

Como os comportamentos deste tipo, dependem de maneira imediata da morfologia do Sistema Nervoso, e dos mecanismos fisiológicos, não sendo necessária qualquer aprendizagem prévia, podemos legitimamente designá-los de inatos.

Nos organismos mais simples, mesmo aquilo que é aprendido é também muito elementar, e imediatamente ligado a estímulos desencadeadores. A medida que aumenta a complexidade do Sistema Nervoso, aparecem novos modos de comportamento: O comportamento deixa de estar tão estritamente ligado aos estímulos externos e internos presentes num dado momento, e dependerá pelo contrário, de um contexto que é representado pelo registo na memória da experiência passada, isto é, dos estímulos anteriores, das respostas ocorridas no passado, e dos resultados dessas respos-

tas. Muito desse contexto resulta da experiência passada, mas existem no homem, como factor novo, processos simbólicos capazes de controlarem o comportamento a um nível consciente de processamento reflexivo, por vezes em aparente contradição com os dados perceptivos imediatos, e de permitirem, nas situações de transacção social, um novo modo de comportamento, que consiste na comunicação verbal dos resultados desses processos simbólicos.

No homem, os modos de adaptação mais elevados e que integram os outros, e por assim dizer os ordenam num plano orientado para a realização de uma intenção de que o próprio tem conhecimento, são os processos cognitivos e os mecanismos peculiares de aprendizagem, que conduzem à produção de novos esquemas gerais de comportamento. Os instintos e as pulsões mais básicas, surgem então, modulados pelos processos mais elevados, e as estruturas fixas de comportamento são modificáveis, inibíveis ou associadas a situações novas, que são procuradas ou evitadas intencionalmente.

À medida que, na escala filogenética, se tornam possíveis modos complexos de comportamento, eles ou são acrescentados a modos mais simples, ou pelo contrário tendem a substituí-los.

Taxias

A mais simples forma de comportamento adaptativo são as taxias,^{448, 605} que consistem na orientação de um organismo para um estímulo do ambiente.

Nem todas as orientações para um estímulo são no entanto classificadas como Taxias.

Consideremos por exemplo o caso de um organismo simples, sujeito a uma série de movimentos aleatórios. A orientação para um estímulo exprimir-se-á pela ocorrência de movimentos ocasionais de aproximação ou de afastamento, em resposta a um estímulo específico. Este tipo de comportamento não é considerado como correspondendo à definição de Taxia.

Esta designação aplica-se apenas aos casos em que a orientação é, pelo contrário, contínua e especificamente guiada por estímulos externos.

Como exemplo de uma Taxia, teremos a orientação da extremidade cefálica de um animal, que tende a manter igual a intensidade da estimulação em dois receptores situados bilateralmente de maneira simétrica, e que se exprimiria por sucessivos movimentos adaptativos da cabeça ou dos globos oculares, em sucessivos instantes, de modo a corrigir qualquer desvio.

Embora a essência de uma Taxia seja a orientação, pode também estar incluído um movimento de aproximação ou de afastamento em relação ao estímulo. Em tais casos, se a orientação e o movimento são de aproximação da origem do estímulo, designamos a Taxia de positiva, se são, pelo contrário, de afastamento, usamos a designação de Taxia negativa.

As Taxias são também designadas usando as características dos estímulos em relação aos quais o animal se orienta: fototaxia, quimiotaxia, geotaxia, etc.

Por exemplo, a orientação do corpo de um peixe com a superfície ventral para baixo e a dorsal para cima, pode derivar de Taxias quer luminosas quer gravitacionais, como pode comprovar-se pelos seguintes comportamentos:

(1) Se a luz vem do lado do tanque, em vez de vir de cima, certos peixes podem reagir com um desvio na posição do corpo.

(2) Se os efeitos da gravidade são eliminados por meio da destruição do labirinto, o peixe orientar-se-á perpendicularmente à vertical se a luz vem do lado, ou mesmo com a superfície ventral para cima, se a luz vem de baixo.

Nos casos mais simples, uma Taxia pode ser apenas uma "orientação forçada" ou movimento, em que a adaptação do organismo é uma estrutura de resposta simples, automática e inata, à estimulação sensorial.

Noutros casos, todavia, uma Taxia pode ser parte de uma estrutura de com-

portamento mais complexa, tal que uma orientação pode depender de duas ou mais taxias, ou uma dada taxia pode estar incluída num complexo de actos instintivos.

Em geral um organismo vivo responde a mais do que uma característica do estado do seu meio externo e interno, podendo fazer várias adaptações diferentes simultaneamente.

Deve notar-se que esta complexidade pode resultar não só (1) da simultaneidade de reacções ou estímulos diferentes, no caso mais simples, como (2) de efeitos contextuais, no caso de uma Taxia que depende de mais do que um tipo de estímulos, (3) da existência de prioridades hierárquicas, (4) de uma ordenação de fases de execução no tempo, ou ainda, (5) de certas estruturas de comportamentos mais complexas, que surgem com carácter novo, e não redutível aos comportamentos mais simples, tomados isoladamente – isto é, a convergência de estímulos dá lugar a novas relações, de que resulta a organização de novos tipos, qualitativamente diversos, de reacções.

Reflexos

Os reflexos são semelhantes às Taxias sob muitos pontos de vista. Nomeadamente são respostas fixas, estereotipadas, a estímulos, e satisfazem a definição de comportamento inato, no sentido de que são o resultado de mecanismos nervosos herdados, e não dependem de um processo de aprendizagem.

Em muitos aspectos, é difícil fazer uma separação conceptual nítida entre Taxias e Reflexos.

De um modo impreciso, pode dizer-se que as Taxias envolvem uma orientação de todo o corpo, e podem portanto incluir na sua estrutura um certo número de respostas específicas.

Podem-se distinguir dois tipos de reflexos:

1) – Reflexos tónicos, que são ajustamentos relativamente lentos e de mais longa duração, e que mantêm, por exemplo, o tono muscular, a postura e o equilíbrio.

2) – Reflexos fásicos, que são ajustadamente rápidos, de curta duração.

Os reflexos podem estar organizados a vários níveis do sistema nervoso e podem ocorrer com vários graus de complexidade: geralmente os que têm maior complexidade dependem de segmentos mais elevados do sistema nervoso.

Nos vertebrados, os reflexos simples de extensão e de flexão são organizados de tal modo que dependem de estruturas incluídas dentro de um número restrito de segmentos da espinal medula.

Os movimentos alternados de flexão e de extensão que constituem a locomoção, são, pelo contrário, organizados de um modo que abrange muitos segmentos da espinal medula, e estruturas do tronco cerebral, núcleos cinzentos da base e cortex cerebral.

O mesmo é verdade em relação aos reflexos de endireitamento que envolvem complexas configurações de respostas.

Numa época ainda não muito distante, acreditou-se que todo o comportamento complexo poderia ser completamente compreendido em termos de sucessões de reflexos, e que mesmo a aprendizagem e o pensamento não passariam de combinações complexas de reflexos inatos e condicionados ou adquiridos.

Embora seja por vezes mencionado que é teoricamente possível, em princípio, analisar qualquer comportamento nos seus reflexos componentes, raramente foi feita qualquer tentativa nesse sentido – devem mencionar-se as notáveis excepções de Sechenov e Pavlov – e actualmente parece claro que muitos tipos de comportamento, por exemplo, instintivo, envolvem qualquer coisa mais do que encadeamento de reflexos simples, com relação estímulo-resposta invariáveis.

Sabemos hoje que, no decurso da evolução, a organização rígida do comportamento em sucessões de reflexos vai-se tornando menos proeminente. Os comportamentos adaptativos mais importantes surgem então como mais variáveis, e cada vez mais sujeitos às influências modificadoras de mecanismos superiores.

Instinto

O instinto tem sido tradicionalmente entendido como uma capacidade inata de realizar actos que tendem, (do ponto de vista de um observador externo), para certos resultados ou objectivos, sem que haja, por parte do animal, previsão dos resultados e sem que seja necessária uma aprendizagem desses actos.^{428,622}

Assim definido, o instinto é entendido como o correlato funcional de estruturas anatómicas do Sistema Nervoso Central.

Tal como acontece em relação à dicotomia "inato-adquirido" no que respeita às características morfológicas, cujos princípios fundamentais foram estabelecidos por Darwin, também no que concerne ao comportamento se encontram muitas dificuldades quando se tenta uma distinção clara entre estes dois tipos de mecanismos.

As características inatas e adquiridas estão intimamente integradas, e não é imediatamente discernível aquilo que nos comportamentos está relacionado com umas ou com outras.⁵⁸⁰

No que respeita a um dos aspectos mais elementares do problema da importância das estruturas e mecanismos inatos, podemos mencionar o facto de que diferentes espécies animais têm desigual capacidade de aprendizagem, no que concerne à extensão, variedade e características do processo. Quer dizer, o próprio processo de aprendizagem e os seus limites dependem das características inatas de cada espécie animal.

Os comportamentos inatos ocorrem sem necessidade de aprendizagem, porque existem estruturas anatómicas e mecanismos fisiológicos já preparados, que são herdados, que diferem de espécie para espécie, e cujo funcionamento depende de estímulos tanto do Meio Externo como do Meio Interno. Embora não tenham uma variação devida à experiência, os comportamentos inatos não são inteiramente fixos no sentido de que um esquema de comportamento constitui uma classe de sucessões de actos que podem diferir dentro de certos limites, conforme as características da situação em que o esquema é desencadeado.

Têm portanto considerável variabilidade dependendo das configurações de estímulos exteriores, mas de um modo que só aparentemente é análogo ao que se passa em relação aos processos de aprendizagem.

A situação é ainda mais complexa porque, embora se trate de mecanismos inatos, os genes não se exprimem directamente numa certa classe de estruturas de comportamento. — entre o óvulo fecundado e o indivíduo adulto existe um processo de maturação que tem de ser considerado. À medida que a maturação prossegue, ocorrem diferentes tipos de interacção entre o organismo e o meio externo, que vão influenciando o processo em curso.⁶⁴⁴ Na maturação do S.N., além dos estímulos internos, têm também influência os estímulos externos — de início a acção desses estímulos poderá exercer-se apenas durante um lapso de tempo que não excederá muito a duração do estímulo, e dará lugar a uma resposta de curta duração por parte do organismo. Mas se certos desses estímulos tiverem maior duração ou ocorrerem repetidamente, poderão causar uma modificação estrutural permanente no Sistema Nervoso, que se reflectirá em certos casos no comportamento, ou pelo menos no processamento dos sinais. Embora o animal se encontre numa época particular da evolução do seu S.N., o que justifica que se considerem como formas peculiares de aprendizagem, seria especioso por em causa que podem dar lugar a modificações do comportamento, adaptativas em relação ao ambiente e que persistem no tempo.

A separação entre inato e adquirido surge portanto como artificial. Essa distinção corresponderia a situações que realmente só existem nos casos em que um dos dois mecanismos predomina fortemente sobre o outro.

Apesar da reconhecida participação dos mecanismos ontogénéticos e de estímulos dependentes do meio externo, a posição dos etologistas no que respeita ao instinto, tomado em sentido estrito, não foi destruída. Nos mecanismos instintivos, como diz Lorenz, a possibilidade de variação devido à interferência de factores do meio externo, teria ela própria uma determinação hereditária.

De um ponto de vista heurístico, deve notar-se que apesar dos estudos experimentais de genética comportamental não permitirem uma decisão conclusiva a

esse respeito, algumas estruturas de comportamento são tão fixas que os zoólogos as usam como critério para distinguir entre espécies diferentes.

Estas estruturas de comportamento constituem "um agregado de automatismos fixos, relativamente complexos e inatos, no sentido de serem herdados e próprios de cada espécie. Estas estruturas formam núcleos de fenómenos aos quais corresponde aquilo que em sentido estrito deve ser entendido como instinto".

Nos casos em que estas estruturas de actos constituem a parte final de uma sucessão de actos mais complexa, são designadas de "Erbkoordinationen" (Coordenações herdadas) e os autores de língua inglesa chamam-lhe "Fixed patterns of action" (Estruturas fixas de acção).

Estas estruturas fixas de acção são precedidas por uma sucessão inicial de actos: "Comportamento apetitivo" é a expressão usada em etologia para denotar a fase introdutória dos actos consumatórios, que varia com as características da situação.

Para explicar o modo de ocorrência e as características dos comportamentos instintivos, Tinbergen admitiu a existência de um conjunto ordenado de "centros" organizados numa hierarquia em que distingue vários níveis, em disposição estratificada. Cada centro é activado por acção do que lhe é imediatamente superior e por aferências dos meios externo e interno. O conceito de "Centro" não tem, no entanto, no esquema de Tinbergen, uma significação localizatória estrita e pelo contrário é usado apenas para denotar as estruturas de que depende cada uma das sub-sucessões de comportamentos.

Os centros que pertencem aos diferentes níveis de integração reagiriam, não só a "instruções" motivacionais providas de centros situados a um nível mais elevado na hierarquia das funções instintivas, mas também a aferências viscerocéptivas, hormonais (ou a outros "mensageiros" químicos) e aferências do Meio Externo, que convergiriam neles, modulando a actividade desses centros do Sistema Nervoso.

No contexto dos modelos esta teorização pode ser representada por (1) os estados dos receptores R que são actuados por estímulos do Meio Externo e dos receptores R' que são actuados por estímulos do Meio Interno, e (2) os processamentos sucessivos nos neurónios da rede tais que, por interacção entre variáveis do meio externo e interno e processamentos que dependem directamente do S.N. vão ser desencadeadas sucessões de configurações de estados 0 e 1 nos efectores.

Haveria um dispositivo neuronal que só permitiria a ocorrência de um comportamento instintivo, se os receptores e outros elementos do modelo fossem estimulados de maneira ordenada numa certa configuração temporo-espacial. Se assim não fosse, as estruturas seguintes na cadeia de processamento permaneceriam inibidas ou pelo menos inactivas. Na interpretação de Tinbergen os centros seriam activamente inibidos pelos imediatamente superiores.

Quando uma situação fosse "biologicamente adequada" seria desencadeado um "mecanismo inato de libertação", que faria cessar a inibição, permitindo em consequência disso, a ocorrência do comportamento correspondente.

No esquema de Tinbergen o comportamento apetitivo resultaria do facto da acção dos centros inferiores permanecer inibida, por as condições necessárias para o funcionamento dos "Mecanismos Inatos de Libertação" não terem sido satisfeitas. Haveria então, em vez de uma progressão para um estágio seguinte, aquilo que podemos descrever de maneira figurada, como um desvio lateral, isto é, sem progressão na sucessão ordenada de processamentos que é definida pela passagem de uns níveis para outros, na estrutura estratificada proposta como explicação por Tinbergen.

Num modelo que será mostrado adiante, isso corresponderia a uma investigação exploratória do Meio Externo, a que se segue uma estrutura final de acção consumatória.

Apesar da notória diferença entre os comportamentos apetitivos, que são variáveis, e as estruturas de acção consumatória que são fixas, Hinde argumenta em defesa da ideia de que entre eles existe apenas uma diferença quantitativa, pois tanto uns como outros dependem de uma activação interna, e têm certo grau de rigidez estrutural.

Nos exemplos correntes, as estruturas de comportamento, quer consumatórias quer apetitivas, podem ser considerados como ocupando apenas posições diferentes dentro de uma mesma escala contínua, cujos dois extremos são caracterizados, um deles por grande variabilidade e plasticidade, e o outro por completa rigidez, enquanto que nas posições intermédias haverá uma estrutura sujeita a maior ou menor variação, na importância relativa de cada componente, conforme os casos.

Deve no entanto ter-se presente que esta atitude teórica é baseada em dados "externos", comportamentais. O uso exclusivo destes dados na interpretação destes comportamentos, é certamente incorrecto.

Embora não haja problema em relação aos mecanismos neuronais de que dependem os comportamentos nos casos em que a partir do comportamento se pode inferir que o sub-sistema considerado mantém uma estrutura rígida, já o mesmo não se passa se houver variação. A modificação poderá então ser devida ao efeito de experiência do animal, correspondendo portanto a um processo indistinguível da aprendizagem, não havendo razão para supor que as modificações neuronais não são semelhantes às que ocorrem nos reflexos condicionados. Esta interpretação não é obrigatória porque sendo o comportamento apetitivo multideterminado, poderia cada uma das estruturas que ocorrem, corresponder a uma diferente configuração contextual dos factores determinantes das decisões neuronais, havendo a possibilidade de uma interpretação que satisfaz os critérios em que o comportamento pode ser considerado como inato, e outra em que desaparece a diferença em relação aos processos de aprendizagem.

A não se verificar a segunda alternativa que propusemos, a interpretação de Hinde conduziria a uma contradição com a definição inicial de actos instintivos.

Em relação à atitude teórica dos etologistas, deve fazer-se a crítica de que eles são responsáveis de um retorno aos conceitos de finalidade, e energia específica da Psicologia do Séc. XIX, o que representa uma atitude retrógrada, que não resiste a uma análise dos problemas à luz dos novos conceitos de informação e de controle.

A aparente intencionalidade das estruturas instintivas de comportamento pode ser real, ou pelo contrário ser o resultado de se interpretar antropomórficamente uma situação que tem uma analogia apenas superficial com os actos intencionais, e que pode ser explicada por mecanismos de controle relativamente elementares.

A explicação dos etologistas para a adaptação no decurso de comportamentos apetitivos, toma como base a ocorrência de uma "acumulação de um potencial de acção", o que corresponde a uma analogia grosseira e errada com o conceito físico. O modelo energético ou hidráulico, inicialmente proposto por Lorenz, deveria ser substituído por um modelo informático. O dispêndio de energia em geral, e os actos efectores, são controlados pelo Sistema Nervoso, mas do ponto de vista que é relevante para a Psicologia, o que o Sistema Nervoso processa é informação.

Voltaremos a este problema quando mais tarde considerarmos o processamento da informação em modelos neuronais, no contexto de Teoria Matemática da Comunicação, tendo em conta algumas suposições sobre as características básicas da Transacção entre o Meio Externo e o modelo. A mesma discussão surgirá ainda, ligada a uma outra discussão sobre a perda de informação que ocorre quando se passa da descrição do sistema a um nível físico para a descrição a um nível biológico.

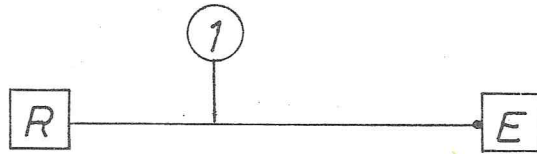
MODELOS DE COMPORTAMENTOS INATOS

Os modelos a que vamos referir-nos podem dizer respeito a actos extremamente simples:

Um estímulo V_A actua sobre um receptor R, ou melhor, geralmente, um conjunto de estímulos V_A actua sobre um conjunto de receptores R.

Estes receptores actuam numa rede de neurónios e provocam um conjunto de respostas E.

A situação que geralmente é usada como paradigma de um reflexo deste tipo é o reflexo medular.



É claro, na descrição anterior, que estamos a referir-nos ao macrofenómeno descrito em neurofisiologia, de que o esquema microfisiológico que apresentamos é uma versão muito simplificada.

Em situações análogas, mas um pouco mais complexas, pode ser necessário que os receptores que pertencem a um certo conjunto sejam simultaneamente excitados, para que tenha lugar uma resposta reflexa elementar.

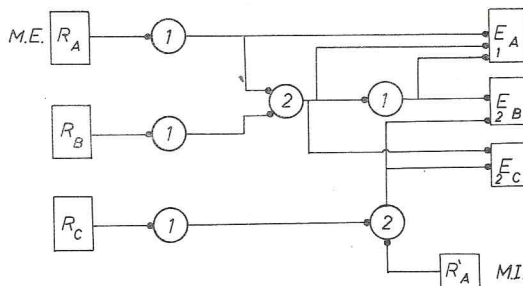
Esta condição, mais realista no que respeita à situação ligada à estimulação, e que envolve uma "somação espacial", tem como equivalente no domínio do tempo, a "somação temporal".

Por outro lado, podem construir-se redes em que uma das condições de estimulação que temos vindo a mencionar, dê lugar a uma sucessão de estados de actividade num único ou em vários efectores, fenómeno que já foi comprovado experimentalmente.

Considerando como paradigma a fisiologia da espinal medula, vemos que existe coordenação entre as respostas elementares de diferentes níveis segmentares. É deste modo que se dá a coordenação da marcha, em que intervêm também os reflexos do pescoço e os reflexos vestibulares. Embora não sejam apresentadas redes com esse tipo de organização, é óbvio que dispomos dos meios para as construir, e apenas não o fazemos por não termos adoptado esse nível de análise dos processos.

Deve ainda ter-se em conta que podem surgir fenómenos, que correspondem ao facto de intensidades variáveis de um mesmo estímulo, darem lugar, não só a modificações na "qualidade sensorial", como ainda do conjunto de reacções comportamentais e vegetativas desencadeadas por esses estímulos.

Nos actos instintivos requer-se a existência de uma configuração complexa de estímulos, mas é evidente que a activação simultânea de vários receptores do Meio Externo ou do Meio Interno, bem como a estrutura temporal de sucessão de estímulos, e a intervenção de outras variáveis hormonais, etc., dá lugar a uma especificação insuficiente, que não chega para caracterizar o acto instintivo, embora seja assim que os etologistas procedem.



A sucessão de actos, isto é, de estados de actividade de efectores na rede anterior, corresponderá à definição de comportamento consumatório, isto é, às estruturas fixas de acção dos etologistas, dando-lhes um equivalente neurofisiológico, embora extremamente simplificado.

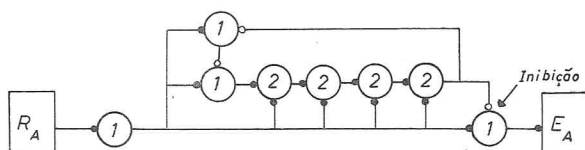
Note-se no entanto que a estrutura é já muito mais complexa que nos reflexos, nomeadamente no que se refere às relações que nos reflexos se estabelecem entre actos elementares.

No modelo anterior, as variações ou configurações do Meio Externo que vão dar lugar ao estado 1 dos receptores R_A , R_B e R_C , na estrutura temporal requerida pela estimulação da rede, em conjunto com a variação do Meio Interno, dão-nos uma interpretação satisfatória, ao nível de abstracção adoptado, dos estímulos inatos de libertação de Tinbergen e Lorenz - para isso bastará que (a) os primeiros neurónios sejam consideradas como tendo o limiar 0 e R e R' sinapses inibitórias, e que (b) os neurónios com limiar 2 sejam actuados por duas sinapses inibitórias e tenham também o limiar 0.

Note-se neste contexto que o modelo pode não implicar um grande desvio da realidade, pois foi verificado experimentalmente que em certos organismos a estimulação de um único neurónio poderia dar lugar à ocorrência de uma estrutura de comportamento.

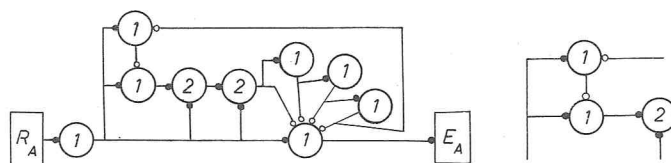
Pavlov verificou experimentalmente que uma reacção inata de tipo instintivo deixa de ocorrer se é provocado uma número elevado de vezes, mesmo na suposição de que não há variação do meio interno que dê lugar à saciação do animal.

No modelo que se segue, isso corresponde à introdução de uma cadeia de regulação por interacção, que inibirá a parte afectora da rede durante um tempo especificado.



Note-se que se a cadeia N_3 N_4 N_5 N_6 N_7 N_8 dependesse de N_2 a habituação seria então o resultado de um controle por reafecção (feedback).

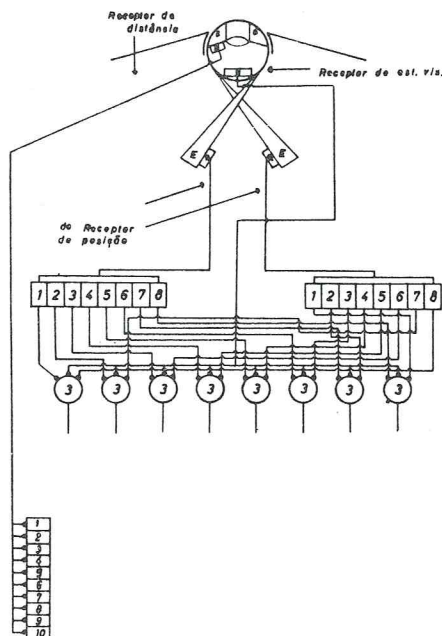
Esta inibição pode durar qualquer múltiplo de T que seja conveniente para satisfazer uma dada especificação.



Vamos agora construir um modelo capaz de um comportamento mais complexo, mais próximo da descrição convencional das condutas instintivas.

Este modelo difere dos anteriores porque:

1) - Tem órgãos receptores capazes de diferentes estados de actividade, do que resulta que serão também diferentes as quantidades de excitação a serem transmitidas aos neurónios do modelo, em cada caso. Deve notar-se que é possível construir modelos em que os neurónios são também capazes de uma quantificação desse tipo, por meio de uma modificação nas convenções de funcionamento previamente adoptadas.



Subsequentemente será tentada uma formalidade desses diferentes tipos de modelo por meio de um cálculo adequado.

Além disso:

- 2) - O modelo tem órgãos efectores capazes de movimento.
- 3) - Tem efectores que realizam funções análogas às que dependem do Sistema Nervoso vegetativo.
- 4) - Tem "receptores a distância", receptores-efectores e efectores-receptores.
- 5) - Há uma sucessão programada de actividades, com rotinas e subrotinas, que permite a execução sequencial ou com saltos, de um repertório de comportamentos, provocados por certos estímulos do M. E. e M. I., e inibida por outros, e implicando um processo de selecção de informação aferente, e decisão sobre a estrutura dessa execução.

Tal como os modelos antes apresentados, têm vários tipos de receptores, cada um deles actuado especificamente por um tipo de "objectos" do Meio Externo. Certos objectos de M. E. podem actuar certos receptores "a distância" - por exemplo, a luz reflectida por um objecto pode actuar sobre um receptor visual.

Os receptores actuados por variáveis do Meio Interno, são organizados em estruturas neuronais que definem órgãos de NI e de RNI, ou outras estruturas ligadas ao comando ou à regulação de mecanismos vegetativos.

Alguns dos efectores são capazes de deslocar o modelo no plano que define o Meio Externo se a sucessão de comportamentos não levou a uma modificação do Meio Externo e de referenciá-lo no espaço ou até medir a distância entre o objecto e o modelo.

Certos efectores constituirão estruturas diferenciadas, capazes de movimento, independentemente das restantes regiões do modelo. Ainda outros efectores podem provocar modificações do Meio Interno (por exemplo, glândulas, musculatura lisa, etc.).

Certos efectores e receptores constituem complexos órgãos receptores-efectores e efectores-receptores.

Programa

Dada a ocorrência de um estado de NI, os receptores a distância exploram o M. E. imobilizando-se ao primeiro estímulo capaz de os actuar.

A esta posição dos receptores a distância, corresponde uma informação que pode ser usada em ulteriores decisões de acção, que conduzem a uma sucessão de movimentos de exploração.

Quer dizer, cada um dos efectores que produza o movimento do órgão receptor a distância pode actuar um receptor (que funciona por exemplo como um fuso neuro-muscular) e o seu estado de excitação define o ângulo formado pelo eixo do receptor a distância e o eixo do modelo; da conjugação dos dados referentes a ambos os receptores a distância, resulta a determinação da direcção e da distância a que se encontra o objecto. Esta informação, em conjunto com a informação obtida pelo processamento visual, que através de um processo de correlação cruzada mede a não coincidência das imagens nos dois receptores visuais, dá uma discriminação exacta da distância e da posição relativa do objecto e do modelo; depois da posição do estímulo ser assim definida, a respectiva informação é transmitida ao órgão de planeamento de sucessões de acção dos efectores, e começam em seguida a ser executadas as decisões que deslocam o modelo até uma região próxima do objecto.

Se o objecto se desloca, as coordenadas podem ser sucessivamente corrigidas, pois durante o seu movimento o modelo vai mantendo o objecto "fixado".

As características visuais do movimento do objecto podem condicionar o tempo de execução ou levar a uma decisão de cessar a deslocação na direcção do objecto.

Se os movimentos não têm características que inibam as decisões do modelo e se outros receptores a distância – acústico e olfactivo, não são estimulados dentro de certas características, entra então em acção um órgão de prensão.

Este último faz a prensão do objecto, e se o seu receptor, por exemplo, térmico ou doloroso, não é actuado, ele então deslocará o objecto até uma posição adequada para a sua incorporação pelo modelo.

Em seguida, entram em acção um effector (por exemplo de salivação) e um effector que desloca o objecto até uma posição em que ele é capaz de fazer variar o valor de certas variáveis do Meio Interno.

1) – Se a sucessão é interrompida em qualquer dos estados considerados, tem lugar um retorno a uma fase anterior de execução do plano, segundo uma especificação pré-estabelecida.

2) – Se o ciclo prévio não resulta numa redução de NI, o modelo inicia de novo a exploração do Meio Externo, de acordo com a mesma sucessão.

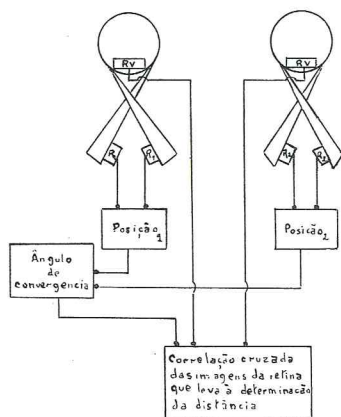
3) – As rotinas e sub-rotinas que foram bem sucedidas e as características contextuais dos estímulos inatos, são armazenadas para servir ulteriormente – deve notar-se que correspondem a um modelo interior do mundo externo. No entanto essas "marcas" ou "memórias" estão presentes a todos os níveis – nas estruturas efectoras e nas características gerais predominantes do M.I., na selecção particular de estímulos contextuais que estão ligados, por exemplo, a cada uma das sub-rotinas. Em consequência dessas memórias, certas aferências podem deixar de provocar actos elementares – memória ao nível das rotinas de execução mesmo as mais elementares – bem como pode haver desorganização do processo de decisão de sucessões de actos.

4) – No caso de os receptores a distância realizarem toda a sua rotina de exploração sem que sejam actuados de maneira tal que ocorra uma decisão de acção, então o modelo modifica a sua posição em relação às coordenadas iniciais no plano do M. E., usando, ou não, a informação também recebida por outros receptores e distância (por exemplo acústicos). Esses receptores determinam a acção com uma precisão diferente conforme as situações de estimulação e a modalidade sensorial.

Consideremos a especificação a que obedece um dos órgãos receptores a dis-

tância, formado por um conjunto de receptores e efectores com as características seguintes:

- 1) - Tem forma aproximadamente esférica.
- 2) - É capaz de movimentos de rotação de amplitude limitada e que correspondem a eixos que têm que estar incluídos num volume aproximadamente cónico com centro que coincide com o centro do receptor.
- 3) - Na sua superfície externa inserem-se órgãos efectores cada um com outra inserção noutra região do modelo.
- 4) - A cada effector corresponde um receptor que lhe está acoplado.
- 5) - O movimento de rotação que realiza a exploração do meio externo implica o encurtamento de um ou mais efectores e a alongação de outros.
- 6) - A cada uma das posições possíveis corresponde um estado os receptores acoplados com estes efectores.
- 7) - Existe uma porção da superfície anterior que é transparente, e uma lente biconvexa de esfericidade variável, que foca a imagem do objecto exterior sobre o receptor visual situado em oposição à superfície transparente anterior, na superfície interior da parte posterior do órgão receptor.
- 8) - A variação da esfericidade da lente é determinada por efectores que têm receptores acoplados, de tal maneira que a cada estado de excitação dos efectores corresponde um dos estados desses efectores.
- 9) - As posições dos dois órgãos receptores-efectores, com as características que temos especificado, são coordenadas por um sistema de decisão que produz movimentos conjugados segundo um repertório pré-estabelecido.



No modelo que apresentamos primeiro, a posição de um receptor a distância é definida pelo par de estados dos receptores R que lhes corresponde.²³⁰

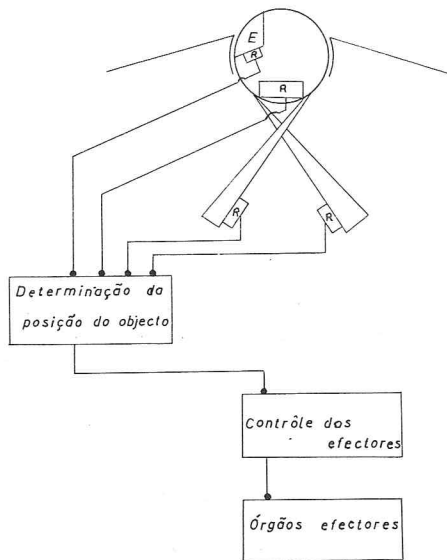
A posição do objecto estímulo é estabelecida pelas coordenadas que correspondem aos dois pares de valores que definem a posição do objecto para cada um dos olhos.

Como informação é utilizado ainda o estado dos receptores que definem a posição dos efectores que modificam a esfericidade da lente.

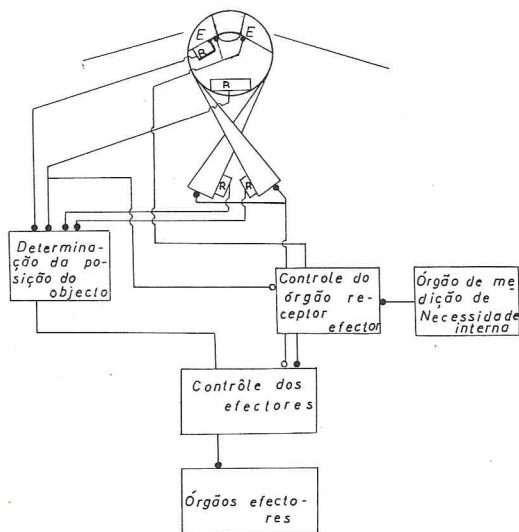
Por último, a diferença que existe na posição relativa ocupada pela imagem em cada uma das superfícies receptoras visuais, é também usada para fazer uma discriminação ainda mais fina da posição. No entanto, neste momento vamos limitar-nos a fazer notar, em relação a este último aspecto, que na determinação dos comportamentos instintivos participam dados perceptivos extremamente complexos, sendo muito discutível qualquer formulação que exclua a aprendizagem e a percepção, pelo menos.

De qualquer modo, as mensagens que definimos são não só (1) uma representação de posição, mas também (2) uma "instrução" que depois de processada no sis-

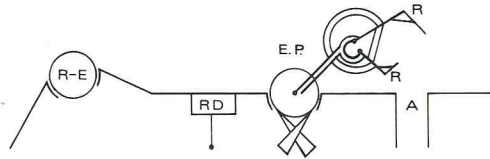
tema de planeamento de sucessões de actos, participa num processo de decisão de que dependerá que os efectores de movimento do modelo o desloquem até à posição que o objecto estímulo está a ocupar.



A primeira parte do ciclo, até à apreensão, pode ser tomada como correspondendo de maneira simplificada ao comportamento apetitivo, e a segunda, ao acto consumatório.



Depois da deslocação até junto do objecto, na condição do receptor R_D não ser estimulado, tem então lugar a acção do "efector de prensão".

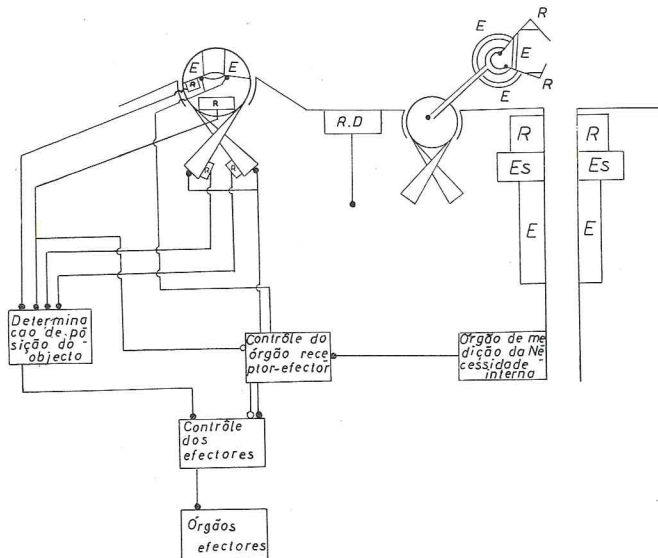
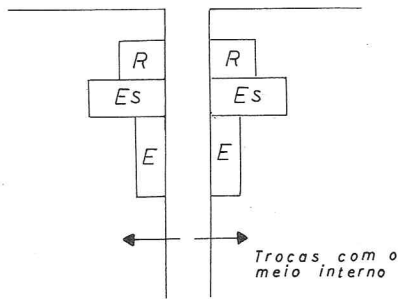


O efector de prensão agarra o objecto, e se o seu receptor R não é estimulado, transporta-o até à entrada A onde é "incorporado", isto é, passa do Meio Externo para o Meio Interno.

Ali, se o objecto estimula o receptor R adequadamente, tem lugar a activação do efector E_S (por exemplo, reflexo salivar) e é deslocado pelo efector E , de tal modo que contacta com receptores do Meio Interno, onde é parcialmente modificado de modo a entrar no "sistema de transporte" que lhe permite contactar os receptores dos órgãos que medem a NI e a RNI.

Estes últimos são semelhantes aos descritos para os modelos de motivação.

Este modelo, tomado em conjunto, é representado por:



Se (1) houve RNI até um limite especificado o modelo entra numa fase de repouso, mas se (2) a redução foi incompleta, os órgãos receptores a distância recomeçam de novo os seus movimentos de exploração, repetindo-se o ciclo inicial; se (3) ao longo do movimento de exploração, não tem lugar a activação do receptor a distância por um estímulo adequado, entram então em acção os efectores de movimento, que modificam a posição do modelo. Desse modo o receptor a distância poderá prospeccionar uma outra zona do Meio Externo.

Nesse caso haverá repetição (2) deste ciclo, ou (3) do ciclo que descrevemos inicialmente. Nessa descrição não especificámos o sistema de controle, nem explicámos a solução para os problemas de temporização, que, todavia, não envolverá dificuldades essencialmente diferentes das resolvidas nos modelos de percepção.

O modelo deve ainda ser completado de modo a incluir mecanismos de condicionamento com as características que descrevemos nas secções precedentes.

Se o modelo tem receptores que podem ser actuados por estímulos gustativos, passarão por si só a dar lugar a salvação (Reflexo Condicionado Clássico).

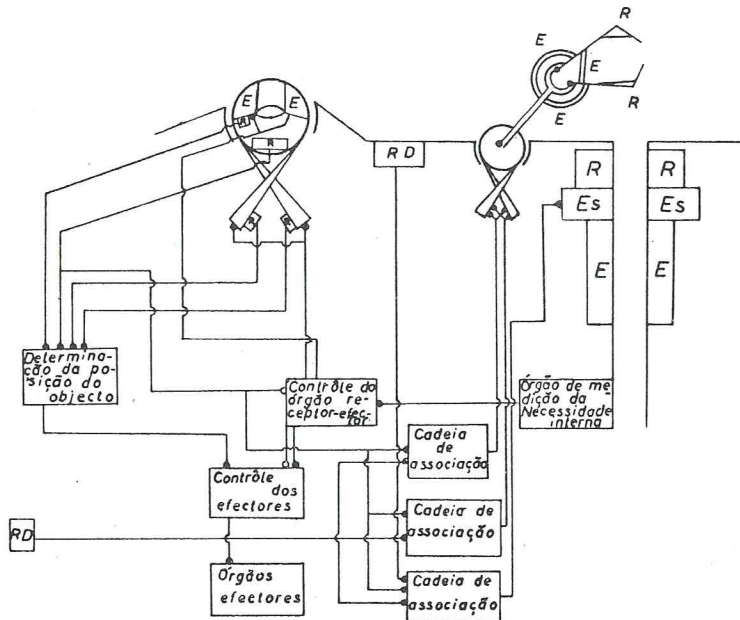
Se o modelo tem receptores dos que transmitem informação sobre um estímulo que actua, não à distância, mas em qualquer parte do modelo, o estímulo acústico pode passar a provocar um reflexo condicionado clássico de fuga.

Se um estímulo acústico for associado com movimentos, e com a incorporação de alimentos, a ocorrência isolada desse estímulo acústico pode vir a desencadear o movimento (Reflexo condicionado de tipo II).

Se o acto condicionado conduz a uma redução de NI, isso corresponde ao "reforço" de Hull^{310,311} ao princípio de efeito de Thorndike,⁶²⁰ e a eficácia do estímulo condicionado, na provocação de resposta, aumentaria ainda.

O mesmo acontece no que concerne a estímulos dolorosos, se interpretarmos a situação, admitindo como Mowrer⁵⁰¹ que a sua estimulação cria uma necessidade de evitar o estímulo. O sucesso deste acto, e a redução da necessidade, podem então fazer o modelo entrar em repouso, tal como no exemplo anterior.

Vemas assim que, em modelo, é possível integrar diversas interpretações de reflexos condicionados num esquema único, dando-lhes uma significação tal que eles ficam ligados a diferentes fases de execução de uma única sucessão de processamentos concorrentes para uma estrutura de comportamento mais complexa.



Depois do primeiro modelo de percepção mostraremos que a aprendizagem de nível mais elevado,³⁷⁶ relacionada com os processos cognitivos pode também ser reduzida a modelo.

O conceito de homeostase ligado à RNI poderá então ser ligado a outros mecanismos, dos quais alguns poderão mesmo entrar em conflito com a aparente adequação finalista que temos observado nos modelos discutidos até agora.

Capítulo IX

Os Modelos Neurais Considerados Como Sistemas Quase Isolados

Consideremos de novo os modelos que foram construídos de acordo com as regras que especificámos no início.

O nosso objectivo é tornar explícitas um certo número de interpretações, que ou não foram mencionadas ou foram analisadas de maneira demasiado breve. Poderemos melhorar e em alguns casos simplificar a compreensão dos modelos, por meio das estruturas que surgiram na resolução dos problemas tratados na primeira parte do nosso trabalho.

Definamos em primeiro lugar "Sistema" como o conjunto (1) de todos os elementos que pertencem a um modelo, e (2) de todas as relações entre eles. O conjunto de todos os elementos que compõem um modelo neuronal, deverá ser interpretado como correspondendo ao Sistema Nervoso, considerado no todo ou em parte, e será designado de S_0 .

S_0 será um sub-conjunto de um outro sistema, designado S_c e a que pertencerá, além de S_0 , um conjunto de elementos não-neuronais que será designado S_1 . S_c deverá ser interpretado como corpo e S_1 como "parte do corpo que não tem funções de comando e controle que impliquem um processamento de informação análogo ao realizado pelos elementos de S_0 ". A este nível de abstracção, S_1 será considerado como equivalente ao Meio Interno (M. I.) embora a MI pertençam também os elementos dos modelos neurais, quando interpretados a um nível biofísico ou bioquímico sem que o aspecto informático dos processamentos que nele ocorrem seja considerado.

S_c , e portanto também S_0 e S_1 , serão subconjuntos de um conjunto a que pertencem além de S_c , objectos ou elementos não incluídos em S_c , e que será designado de S_2 . O conjunto de objectos de S_2 não incluído em S_c será interpretado como Meio Externo e designado ME.

Resumindo :

$$\begin{array}{lll} S_c \equiv S_0 \cup S_1 & S_0 \cap S_1 \equiv \emptyset & S_1 \equiv \text{MI} \\ S_2 \equiv S_0 \cup S_1 \cup \text{ME} \equiv S_c \cup \text{ME} & S_2 \equiv S_c \cup \text{ME} & S_c \cap \text{ME} \equiv \emptyset \end{array}$$

Consideremos S_0 , S_1 ou S_2 como definindo espaços cada um deles com um limite.

Exterior a S_0 ou a S_1 será o espaço complementar de $S_0 \cup S_1$. Designando o limite entre dois Sistemas S_i e S_j por $\text{Lim } S_i, S_j$ e usando \subset como sinal de inclusão, definimos os limites de S_0, S_1 e S_2 de tal maneira que se verificam as seguintes relações :

$$\text{Lim}_{S_0, ME} \subset S_0 \qquad \text{Lim}_{S_1, ME} \subset S_1$$

$$\text{Lim}_{S_0, S_1} \subset S_0 \qquad \text{Lim}_{S_0, S_c} \subset S_c$$

$$\text{Lim}_{S_c, ME} \subset S_c \qquad \text{Lim}_{S_1, S_c} \subset S_c$$

S_0 , S_1 e ME serão considerados como "sistemas quase isolados", isto é, a interacção entre S_0 , S_1 e ME só será considerada como ocorrendo em elementos desses sistemas assim especificados:

Para S_0 , em elementos que serão designados de (a) Receptores se o estado dos neurónios de S_0 ou dos Efectores depender do estado desses elementos de S_0 , e se além disso o estado desses elementos só depender do estado de objectos do ME ou de elementos de S_1 ; (b) Efectores, que serão elementos de S_0 cujo estado dependerá do estado dos neurónios ou dos receptores de S_0 , e se além disso, esse elemento participar em alguma operação realizada em S_0 como elemento final, de tal modo que dele dependa de maneira imediata o estado de um elemento de S_1 ou de um objecto de ME.

Para isso é necessário definir limite de um receptor ou de um efector, de tal modo que, uma parte do limite de qualquer receptor ou efector pertença ao limite do modelo, e impor a condição de que as relações de entrada e saída, entre S_0 e S_c ou ME, são definidas sobre os respectivos limites.

Dadas as especificações estabelecidas inicialmente para os elementos dos modelos neuronais, (a) os receptores são as únicas entradas (inputs) e os efectores as únicas saídas (outputs) do modelo (do ponto de vista do Processamento de Informação); (b) os receptores são "predecessores" dos neurónios e efectores, os efectores são "sucessores" dos receptores e dos neurónios, e os neurónios são predecessores de outros neurónios e efectores e sucessores de receptores ou de outros neurónios.

Os receptores de S_0 em que uma parte do seu limite é também o limite de ME são designados de R e aquele cujo limite é também parte do limite de S_1 são designados de R'.

As relações entre S_0 e S_1 e ME, serão tais que haverá estados de objectos de ME, que dependam do estado dos efectores E de S_0 , e estados de receptores R'_1 de S_1 que dependam do estado dos efectores E' de S_0 .

O estado dos receptores R' de S_0 dependerá do estado de objectos de ME e o dos receptores R' dependerá do estado dos "efectores" E'_1 de S_1 .

Os receptores R e os efectores E são "periféricos" a S_0 e ME e os receptores R' e efectores E' serão "periféricos" a S_0 e S_1 . Análogamente S_1 terá receptores R_1 e efectores E_1 que serão "periféricos" a S_1 e EM e receptores R'_1 e E'_1 que serão "periféricos" a S_1 e S_0 .

Também em ME consideraremos funções V_R e V_A cujos argumentos serão os estados de objectos de ME, e que são periféricos a ME e a S_1 ou a S_0 .

Estas variáveis V_A e V_R estão ligadas a objectos de ME, que tal como S_0 e S_1 estarão localizadas em pontos de S_2 . Ao espaço de S_2 estará associada uma métrica.

É neste contexto que se torna claro o significado das interacções que são possíveis entre S_0 , S_1 e ME.

Faz sentido, em primeiro lugar, considerar além de um estado inicial de S_0 que já foi definido, um "estado nulo" que será um estado 0 irreversível de todos os elementos de S_0 .

Este estado nulo ocorrerá quando o estado dos objectos de ME ou dos elementos de S_1 for tal que (a) haja uma variação do estado de alguns receptores R' de S_0 para lá dos limites de um intervalo fechado, previamente especificado para o modelo, e (b) esta variação seja mantida durante um lapso igual ou superior ao previamente especificado como determinando esse estado.

Podemos interpretar "Estado Nulo" como morte.

Dadas as definições e regras de funcionamento, os modelos são construídos de tal modo que se os receptores R' e R_1 não se modificam durante um lapso de tempo medido a partir de um dado instante t , isso só poderá acontecer porque os efectores de S_0 e de S_1 e os objectos de ME, não são capazes de modificar o estado dos receptores R' de S_0 ou R_1 de S_1 .

Se, depois desse lapso de tempo especificado para cada modelo, não ocorrer o estado nulo, supondo (1) que nenhuma V_A de ME em contacto com os receptores R_1 de S_1 tinha, no instante a partir do qual se mede esse tempo, um valor tal que se pudesse modificar o estado de R' e R_1 de modo que voltasse a estar incluído no intervalo especificado, (2) se não houvesse modificação, durante esse lapso de tempo, dos valores das V_A de S_2 , e se (3) os efectores E_1' de S_1 não fossem capazes de corrigirem esse desvio, poderemos concluir: (A) se os objectos de ME não podem mudar de posição independentemente da ocorrência de uma transacção com S_C , então a construção de S_C é tal que tem efectores E e E_1 capazes de deslocarem os receptores de S_0 e S_1 no espaço S_2 . Esse facto implicará, se a estrutura de S_C for rígida, o movimento global de S_C . Se a estrutura de S_C não for rígida poderá ter havido um movimento global de S_C , de tal modo que a posição de um subconjunto dos receptores e efectores de S_0 e S_1 se tenha modificado em S_2 ; (B) se os objectos de ME podem mudar de posição independentemente da ocorrência de uma transacção com S_C , então o estado nulo poderá não ter ocorrido devido a uma modificação de posição desses objectos, tenha ou não havido deslocamento parcial ou total de S_C .

Uma diferença básica entre os modelos do Sistema Nervoso que apresentamos diz respeito à inclusão ou não, nesses modelos, de uma "memória permanente".

No primeiro caso o estado dos elementos dependerá das transacções ocorridas num lapso de tempo que é indeterminado, desde que apenas se disponha do conhecimento do estado dos elementos do modelo, enquanto no segundo caso o lapso de tempo em que ocorreram as transacções de que depende em cada instante, o estado dos elementos, fica completamente determinado.

Note-se que (1) se o modelo inclui alguma "memória permanente", então deixa de poder ter instantes iniciais a partir da activação dessa memória. Se (2) não existe nenhuma "memória permanente", o intervalo entre dois instantes iniciais sucessivos tem que ser sempre igual ou superior a um tempo mínimo necessário para que o estado de todos os elementos do modelo volte a ser zero depois de uma activação de qualquer receptor do modelo.

Se admitirmos a existência de uma probabilidade de erro estacionária no tempo, e maior que zero para cada época, no funcionamento dos neurónios do modelo, os dois tipos de modelo deixam de ser essencialmente diferentes. Nesse caso haverá sempre uma probabilidade tão elevada quanto se quiser, de que o modelo tenha voltado ao estado inicial devido a erro, desde que se disponha de liberdade para fixar o lapso de tempo a que essa probabilidade diz respeito.

Podemos, nesse caso, falar da possibilidade de haver mais do que um instante inicial nesses modelos de memória permanente, mesmo depois de essa memória ter sido activada, e podemos estimar, para qualquer intervalo de tempo que se considere, a probabilidade de que o estado da memória volte a ser 0, e que o modelo volte ao estado inicial.

Para permitir a introdução de uma medida de "informação" processada no funcionamento dos elementos do modelo, vamos definir de maneira extremamente simplificada os estados dos objectos de ME.

Supor-se-á que esses estados ocorrem dependendo de um processo estocástico estacionário no tempo em sentido estrito.

No que concerne S_0 e S_1 , se considerarmos os estados dos seus elementos ou como determinados pelos estados dos objectos de ME, ou como dependendo probabilisticamente dos estados desses objectos, e havendo conhecimento dessa distribuição de probabilidade, podem determinar-se as probabilidades de ocorrência dos estados possíveis nos elementos de S_0 e S_1 , como será discutido adiante.

Se em vez da situação ser de uma estacionaridade em sentido estrito do processo estocástico (no que se refere aos estados dos objectos de ME ou dos elemen-

tos de S_0 e S_1), fosse a de não estacionaridade, poderíamos tratá-lo como estacionário, desde que não houvesse modificação do processo nos intervalos de tempo que fossem considerados.

Neste primeiro tratamento destes problemas, vamos arbitrariamente supor que o comportamento dos modelos não introduz qualquer modificação na distribuição de probabilidade ligada aos estados dos objectos de ME.

Se considerarmos que os estados de cada um dos objectos de ME ocorrem segundo um processo estocástico estacionário no tempo em sentido estrito, e igual para todos os objectos de ME, e se considerarmos a existência de modelos neuronais num número que tende a ser infinito, então o conjunto formado pelos estados de qualquer dos modelos quando o tempo tende para infinito, tenderá com medida de probabilidade 1 a ser igual ao conjunto formado por todos os estados desses modelos num dado instante.

Se definirmos um conjunto como ergódico, se é estacionário no sentido estrito e se não contém qualquer subconjunto estacionário no sentido estrito, com uma medida diferente de 1 ou 0, então os modelos que funcionam com erro pertencerão a um conjunto ergódico. O mesmo acontecerá aos modelos determinísticos no caso de não terem memória.

O princípio da ergodicidade permitir-nos-á (1) predizer o estado do conjunto dos modelos num dado instante baseando-nos na observação de um único dos modelos no tempo, ou (2) predizer o conjunto de estados de um modelo no tempo baseando-nos na observação do conjunto de todos os modelos num dado instante.

Note-se que o comportamento individual num dado instante é imprevisível; apenas as propriedades do conjunto serão previsíveis.

Capítulo X

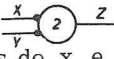
Medida da Quantidade de Informação Processada Em Redes Neurais

CANAL BOOLEANO SEM RUÍDO

O estado dos elementos de S_0 depende em cada instante ou (1) do estado dos objectos de ME, no caso dos receptores, ou (2) do estado de um subconjunto dos receptores e dos neurónios do modelo, no caso dos neurónios e efectores. Por outro lado, os elementos de S_0 devem ser entendidos como uma interpretação de operadores Booleanos.

O nosso objectivo é estudar os processamentos de informação, que esses elementos realizam nas suas operações, entendendo-se quantidade de informação no sentido com que esta designação é usada na Teoria Matemática da Comunicação.^{90,590}

Nos modelos consideraremos sempre as diferentes combinações possíveis do estado das entradas dos elementos, e a probabilidade que corresponde a cada uma delas, de acordo com as suposições sobre ME.

Consideraremos, em primeiro lugar, o neurónio  em que o estado de z pode ser definido por uma relação entre os estados de x e y especificada pela expressão.

$$z(t+1) = x(t) \cap y(t)$$

a que corresponde a seguinte tabela

x (t)	1	1	0	0
y (t)	1	0	1	0
z (t+1)	1	0	0	0

Suponhamos (1) que os estados de x e y dependem de um processo estocástico estacionário no tempo em sentido estrito e (2) que

$$P(x=1) = P(y=1) = p$$

$$P(x=0) = P(y=0) = 1 - p = q$$

e (3) que $P(x \cap y) = P(x) \cdot P(y)$

Teremos então

x (t)	1p	1p	0q	0q
y (t)	1p	0q	1p	0q
z (t+1)	1p ²	0pq	0pq	0q ²

$$P((x=1) \cap (y=1)) = p^2$$

$$P((x=1) \cap (y=0)) = pq$$

$$P((x=0) \cap (y=1)) = pq$$

$$P((x=0) \cap (y=0)) = q^2$$

$$P(z=1) = p^2$$

$$P(z=0) = 2pq + q^2$$

O nosso conhecimento a priori das probabilidades de ocorrência do estado 1 e 0 de x e y , permite-nos calcular para cada instante a incerteza média quanto à ocorrência de x , y , de $(x \cap y)$ e de z .

Nesta situação é possível usar o modelo do Canal sem Ruído de Shannon se imaginarmos (1) que x , y ou $x \cap y$ são sinais que uma fonte produz de acordo com o processo estocástico que especificámos, (2) que um codificador lança esses sinais num canal imaginário na forma porque $x(t)$ e $y(t)$ surgem na tabela, (3) que esses sinais são transportados sem alteração ao longo desse canal imaginário, e que (4) os estados $z(t+1)$ são produzidos num descodificador, que traduz os sinais que recebe do canal segundo a regra especificada na tabela.

No caso do operador de que nos estamos a ocupar essa tradução seria não reversível, isto é, não existiria uma relação bi-unívoca entre os pares $(x(t), y(t))$ e $z(t+1)$.

A incerteza média por época é, segundo a teoria da comunicação de Shannon

$$H(x) = p \log_2 \frac{1}{p} + q \log_2 \frac{1}{q}$$

$$H(y) = p \log_2 \frac{1}{p} + q \log_2 \frac{1}{q}$$

$$H(z) = p^2 \log_2 \frac{1}{p^2} + (2pq + q^2) \log_2 \frac{1}{2pq + q^2}$$

Note-se que se nesta situação nos for dado o conhecimento do valor assumido por $x(t)$ e $y(t)$, se anula a nossa incerteza sobre $z(t+1)$, uma vez que conhecemos a tabela de correspondência que especifica esses valores. Pelo contrário, se nos for dado o conhecimento de $z(t+1)$, se $z(t+1) = 0$ apenas sabemos que ocorreu um dos três casos $(x=1) \cap (y=0)$, $(x=0) \cap (y=1)$, $(x=0) \cap (y=0)$, mas, sem informação adicional não é possível saber qual deles efectivamente ocorreu. Persiste pois uma incerteza residual quanto a $(x \cap y)$, quando só se conhece z , no caso de $z = 0$.

É legítimo falar de uma "perda de informação" ligada à ambiguidade que resulta da passagem de um código em que sinais elementares binários (0 e 1) compõem "palavras" com duas posições, e em que se distinguem quatro palavras diferentes 11, 10, 01 e 00, para uma linguagem em que os símbolos elementares 0 e 1 compõem palavras com uma única posição. Neste caso as palavras possíveis são apenas 0 e 1.

O operador, por assim dizer, realiza uma "tradução" em que a informação inicial respeitante a quatro situações diferentes não pode ser reproduzida, porque por definição, só é permitido usar para isso duas palavras. Se em vez de palavras fossem permitidas "frases" (sucessões de 0 e 1) de comprimento arbitrário, então seria sempre possível construir, com operadores diferentes, um código em que a ambiguidade desaparecesse.

Em relação ao operador que nos interessa neste momento podemos definir a "quantidade de informação" respeitante a z e y , dado z , como

$$I((x, y)/z) = H(x, y) - H_z(x, y) = H(z)$$

Quer dizer, a informação, ou a incerteza a respeito de x , y que diminui quando se conhece z , é igual à incerteza inicial sobre x , y menos a incerteza que resta sobre x , y quando se conhece z .

Esta incerteza, ou ambiguidade residual é dada por $H_z(x, y)$

e é medida pela expressão

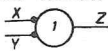
$$H_Z(x, y) = q^2 \log_2 \frac{2pq + q^2}{q^2} + 2pq \log_2 \frac{2pq + q^2}{pq}$$

$$I((x, y)/z) = p^2 \log_2 \frac{1}{p^2} + 2pq \log_2 \frac{1}{pq} + q^2 \log_2 \frac{1}{q^2} - \left(q^2 \log_2 \frac{2pq + q^2}{q^2} + 2pq \log_2 \frac{2pq + q^2}{pq} \right)$$

A incerteza que se anula é apenas H(z).

O mesmo tipo de tratamento pode ser usado em relação a qualquer neurónio de n entradas, ou a qualquer interpretação de funções booleanas de n variáveis, em que se verifique a ocorrência dos valores possíveis dessas variáveis de acordo com um processo estocástico estacionário no tempo em sentido estrito.

Vejam os ainda dois exemplos:

No neurónio:  a que corresponde a tabela

x(t)	1	1	0	0
y(t)	1	0	1	0
z(t+1)	1	1	1	0

e que é definido sob a forma de uma expressão proposicional temporal como

$$z(t+1) \equiv x(t) \cup y(t)$$

quando se ligam aos estados possíveis de x e y as respectivas probabilidades de ocorrência já especificadas para o exemplo anterior, obtém-se

x(t)	1p	1p	0q	0q
y(t)	1p	0q	1p	0q
z(t+1)	1p ²	1pq	1pq	0q ²

$$P(x=1) = P(y=1) = p$$

$$P(x=0) = P(y=0) = 1 - p = q$$

$$P(x \cap y) = P(x) \cdot P(y)$$

$$P((x=1) \cap (y=1)) = p^2$$

$$P((x=1) \cap (y=0)) = pq$$

$$P((x=0) \cap (y=1)) = qp$$

$$P((x=0) \cap (y=0)) = q^2$$

$$P(z=1) = p^2 + 2pq$$

$$P(z=0) = q^2$$

De modo análogo ao que se passa em relação ao exemplo anterior, é fácil verificar, seguindo a definição de incerteza média ou Entropia de Shannon, que

$$H(x) = p \log_2 \frac{1}{p} + q \log_2 \frac{1}{q}$$

$$H(y) = p \log_2 \frac{1}{p} + q \log_2 \frac{1}{q}$$

$$H(x, y) = p^2 \log_2 \frac{1}{p^2} + 2pq \log_2 \frac{1}{pq} + q^2 \log_2 \frac{1}{q^2}$$


$$H(z) = (p^2 + 2pq) \log_2 \frac{1}{p^2 + 2pq} + q^2 \log_2 \frac{1}{q^2}$$

$$H_Z(x, y) = p^2 \log_2 \frac{p^2 + 2pq}{p^2} + 2pq \log_2 \frac{p^2 + 2pq}{pq}$$

e a incerteza $H(z)$ que se anula é a informação dada por z a respeito de x, y , e é medida por

$$I(x, y)/z = p^2 \log_2 \frac{1}{p^2} + 2pq \log_2 \frac{1}{pq} + q^2 \log_2 \frac{1}{q^2} - \left(p^2 \log_2 \frac{p^2 + 2pq}{p^2} + 2pq \log_2 \frac{p^2 + 2pq}{pq} \right)$$

As funções booleanas de uma só variável negação e equivalência, serão as únicas em que não haverá ambiguidade.

No neurónio  a que corresponde a tabela

$x(t)$	1	0
$z(t+1)$	0	1

e que pode ser definido pela expressão proposicional temporal

$$z(t+1) \equiv \overline{x(t)}$$

quando se ligam aos estados possíveis de x as respectivas probabilidades de ocorrência obtêm-se

$x(t)$	1p	0q
$z(t+1)$	0q	1p

$$P(x=1) = P(z=0) = p$$

$$P(x=0) = P(z=1) = 1 - p = q$$

$$H(x) = p \log \frac{1}{p} + q \log \frac{1}{q}$$

$$H(z) = q \log \frac{1}{q} + p \log \frac{1}{p}$$

$$H(x) = H(z) + H_Z(x)$$

$$H(x) = H(z) \text{ neste caso, e portanto}$$

$$H_Z(x) = 0$$

$$H_Z(x) = 0$$

isto é, neste operador a ambiguidade é nula, pois o código é reversível, e há uma relação bi-unívoca entre cada estado de x e de z . Por outras palavras, a "variedade" dos símbolos na linguagem Z é igual à "variedade" da linguagem x e, portanto, suficiente para que não haja qualquer ambiguidade na tradução de uma linguagem para a outra.

CANAL BOOLEANO COM RUÍDO

Consideremos agora a situação que ocorre quando os operadores do modelo funcionam com uma probabilidade de erro maior que zero, e que é conhecida.

É imediato, que análogamente ao caso sem erro, a situação é representável pelo modelo do canal com ruído, de Shannon. Os estados dos objectos de ME são os sinais produzidos por uma fonte estocástica estacionária no tempo em sentido estrito. O predecessor do operador em causa, é equivalente ao codificador que lança no canal as mensagens, a condução no canal é equivalente ao processo de transmissão ao longo do corpo celular e o descodificador é equivalente à operação Booleana realizada pelo neurónio.

Os sinais que são recebidos através dos axónios dos predecessores representam os estados 0 ou 1 desses predecessores.

No corpo celular, admite-se que haja erros em que os sinais 1 se mantenham sem alteração com a probabilidade p' e se transformem em sinais 0 com a probabilidade $q' = 1 - p'$ e que os sinais 0 se transformem em 1 com a probabilidade p'' e se mantenham sem alteração com a probabilidade $q'' = 1 - p''$.

Portanto


p' é a probabilidade condicional de 1, dado um sinal 1

q' é a probabilidade condicional de 0, dado 1

p'' é a probabilidade condicional de 1, dado 0

q'' é a probabilidade condicional de 0, dado 0.

Supõe-se que os processos estocásticos de que depende a conservação sem alteração ou a transformação dos sinais 1 e 0, são estacionários no tempo, em sentido estrito, e independentes um do outro e do processo de produção dos sinais pela fonte.

Consideremos o neurónio 

em que $P(x=1) = P(y=1) = p$ e

$P(x=0) = P(y=0) = 1 - p = q$

A situação é descrita pela tabela e pelo esquema seguintes:

$x(t)$	q'	p'	q'	p'	q''	p''	q''	p''
	1		1		0		0	
		p		p		q		q
$y(t)$	q'	p'	q''	p''	q'	p'	q''	p''
	1		0		1		0	
		p		q		p		q
<hr/>								
$z(t+1)$	1		1		1		0	

Consideremos quatro casos para x e y :

11, 10, 01 e 00, designados respectivamente de A, B, C e D.

Caso A:

$x = 1 \quad y = 1$

$P((x=1) \cap (y=1)) = p^2$

- (1) $P((z=1) / (\text{Transf. } x=1 \rightarrow x=0)) = p^2 \cdot p'q'$
- (2) $P((z=1) / (\text{Transf. } y=1 \rightarrow y=0)) = p^2 \cdot p'q'$
- (3) $P((z=1) / (\text{não transform. de } x \cap y)) = p^2(p')^2$
- (4) $P\left((z=0) / \left[\begin{array}{l} \text{Transf. } x=1 \rightarrow x=0 \\ y=1 \rightarrow y=0 \end{array} \right] \right) = p^2 \cdot (q')^2$

resumindo, no caso A

$$P(z=1) = p^2 ((p')^2 + 2p'q')$$

$$P(z=0) = p^2 \cdot (q')^2$$

Caso B:

$$x=1 \quad y=0$$

$$P((x=1) \cap (y=0)) = pq$$

$$(1) \quad P((z=1)/(n\tilde{a}o \text{ transf. de } x \cap y)) = pq \cdot p'q''$$

$$(2) \quad P((z=1)/(Transf. \quad y=0 \rightarrow y=1)) = pq \cdot p'p''$$

$$(3) \quad P\left[(z=1)/\left[\begin{array}{l} \text{Transf.} \\ x=1 \rightarrow x=0 \\ y=0 \rightarrow y=1 \end{array}\right]\right] = pq \cdot q'p''$$

$$(4) \quad P((z=0)/Transf. \quad x=1 \rightarrow x=0) = pq \cdot q'q''$$

portanto, no caso B,

$$P(z=1) = pq (p'p'' + p'q'' + q'p'')$$

$$P(z=0) = pq \cdot q'q''$$

No caso C:

$$x=0 \quad y=1$$

$$P((x=0) \cap (y=1)) = pq$$

$$(1) \quad P((z=1)/(Transf. \quad x=0 \rightarrow x=1)) = pq \cdot p'p''$$

$$(2) \quad P\left[(z=1)/\left[\begin{array}{l} \text{Transf.} \\ x=0 \rightarrow x=1 \\ y=1 \rightarrow y=0 \end{array}\right]\right] = pq \cdot q'p''$$

$$(3) \quad P((z=1)/(n\tilde{a}o \text{ transf.})) = pq \cdot p'q''$$

$$(4) \quad P((z=0)/(Transf. \quad y=1 \rightarrow y=0)) = pq \cdot q'q''$$

portanto, no caso C,

$$P(z=1) = pq \cdot (p'p'' + q'p'' + p'q'')$$

$$P(z=0) = pq \cdot q'q''$$

No caso D:

$$x=0 \quad y=0$$

$$P((x=0) \cap (y=0)) = q^2$$

$$(1) \quad P((z=1)/(Transf. \quad x=0 \rightarrow x=1)) = q^2 \cdot p''q''$$

$$(2) \quad P((z=1)/(Transf. \quad y=0 \rightarrow y=1)) = q^2 \cdot p''q''$$

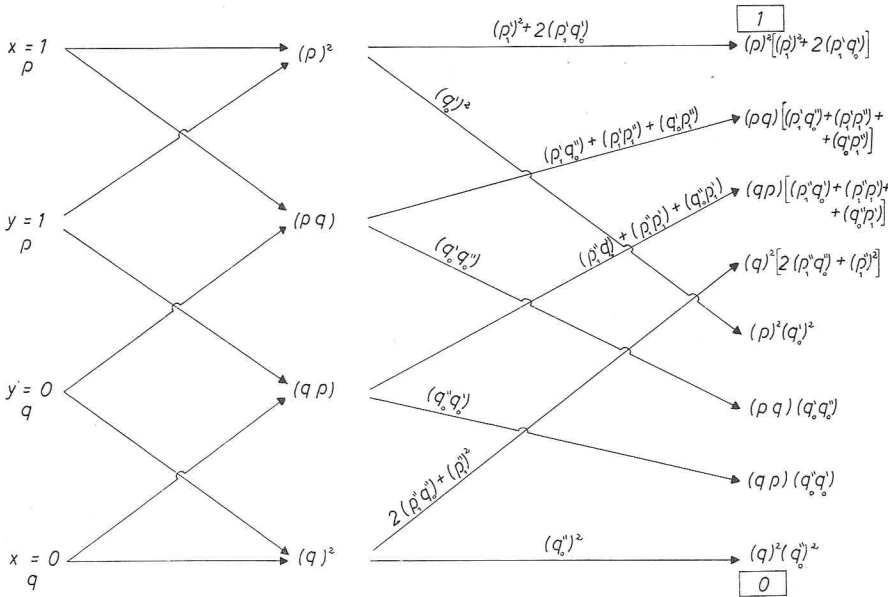
$$(3) \quad P\left[(z=1)/\left[\begin{array}{l} \text{T} \\ x=0 \rightarrow x=1 \\ y=0 \rightarrow y=1 \end{array}\right]\right] = q^2 \cdot (p'')^2$$

$$(4) \quad P((z=0)/(n\tilde{a}o \text{ transf. de } x \cap y)) = q^2 \cdot (q'')^2$$

portanto, no caso D,

$$P(z=1) = q^2 \cdot ((p'')^2 + 2p''q'')$$

$$P(z=0) = q^2 \cdot (q'')^2$$



Consideremos agora as medidas da incerteza média que correspondem a vários casos que é possível distinguir neste exemplo :

$$H(x, y) = p^2 \log_2 \frac{1}{p^2} + 2pq \log_2 \frac{1}{pq} + q^2 \log_2 \frac{1}{q^2}$$

$$H(z) = [q^2 (q'')^2 + 2pq (q'q'') + p^2 (q')^2] \log_2 \frac{1}{q^2 (q'')^2 + 2pq (q'q'') + p^2 (q')^2} + [p^2 ((p')^2 + 2(p'q')) + 2pq (p'q'' + p'p'' + q'p'') + q^2 ((p'')^2 + 2p''q'')] \log_2 \frac{1}{p^2 ((p')^2 + 2(p'q')) + 2pq (p'q'' + p'p'' + q'p'') + q^2 ((p'')^2 + 2p''q'')}$$

A incerteza média quanto a z, nos casos A, B, C e D, é respectivamente

$$H_A(z) = (q')^2 \log_2 \frac{1}{(q')^2} + ((p')^2 + 2p'q') \log_2 \frac{1}{(p')^2 + 2p'q'}$$

$$H_B(z) = q'q'' \log_2 \frac{1}{q'q''} + (p'p'' + q'p'' + p'q'') \log_2 \frac{1}{p'p'' + q'p'' + p'q''}$$

$$H_C(z) = q''q' \log_2 \frac{1}{q''q'} + (p''p' + p''q' + q''p') \log_2 \frac{1}{p''p' + p''q' + q''p'}$$

$$H_D(z) = (q'')^2 \log_2 \frac{1}{(q'')^2} + ((p'')^2 + 2p''q'') \log_2 \frac{1}{(p'')^2 + 2p''q''}$$

A incerteza conjunta quanto a x, y e z, considerando cada um dos quatro possíveis dos estados de x e y e respectivos erros devidos a ruído no canal, e derando em cada um dos vários eventos possíveis apenas duas classes mútua-

mente exclusivas - a classe dos casos que levam a $z=0$ e dos que levam a dada por:

$$H((x, y), z) = p^2((p')^2 + 2p'q') \log_2 \frac{1}{p^2((p')^2 + 2p'q')} + 2pq(p'q'' + p'p'')$$

$$\log_2 \frac{1}{pq(p'q'' + p'p'' + q'p'')} + q^2(2p''q'' + (p'')^2)$$

$$\log_2 \frac{1}{q^2(2p''q'' + (p'')^2)} + p^2(q')^2 \log_2 \frac{1}{p^2(q')^2} + 2pq q'q''$$

$$\log_2 \frac{1}{pq q'q''} + q^2(q'')^2 \log_2 \frac{1}{q^2(q'')^2}$$

Por último, a incerteza média quanto a x, y , no caso de ser dado função do "equivoco" de Shannon.

$$H_z(x, y) = q^2(q'')^2 \log_2 \frac{q^2(q'')^2 + 2pq q'q'' + p^2(q')^2}{q^2(q'')^2} + 2pq q'q''$$

$$\log_2 \frac{q^2(q'')^2 + 2pq q'q'' + p^2(q')^2}{pq q'q''} + p^2(q')^2$$

$$\log_2 \frac{q^2(q'')^2 + 2pq q'q'' + p^2(q')^2}{p^2(q')^2} + q^2((p'')^2 + 2p''q'')$$

$$\log_2 \frac{q^2((p'')^2 + 2p''q'') + 2pq(p'q' + p'p'' + q'p'') + p^2((p')^2 + 2p'q')}{q^2((p'')^2 + 2p''q'')}$$

$$+ 2pq(p'q'' + p'p'' + q'p'')$$

$$\log_2 \frac{q^2((p'')^2 + 2p''q'') + 2pq(p'q'' + p'p'' + q'p'') + p^2((p')^2 + 2p'q')}{pq(p'q'' + p'p'' + q'p'')}$$

$$+ p^2((p')^2 + 2p'q')$$

$$\log_2 \frac{q^2((p'')^2 + 2p''q'') + 2pq(p'q'' + p'p'' + q'p'') + p^2((p')^2 + 2p'q')}{(p^2(p')^2 + 2p'q')}$$

A "Função de Equívoco" pode servir como medida objectiva da qual funcionamento de um dado sistema⁴⁷⁰ ou modelo, em comparação com a de outros. A partir deste critério pode procurar-se otimizar a construção de um modelo, desde que seja conhecida a probabilidade de erro de funcionamento dos sistemas em cada época.

Em relação à teoria da evolução, as funções cuja aplicação temos discutir, poderiam servir para medir a adaptação dos organismos ao ambiente. Os organismos que se modificam devido a complexas mutações genéticas, sobretudo aqueles cuja probabilidade de acções inadequadas, devido a erro na sua reprodução interna do mundo externo, é menor. Ou, o que não é o mesmo, aqueles cujo erro médio nos actos de transacção com as variáveis do ME fosse menor. Evidentemente teria, no entanto, o inconveniente de não tomar em conta a hierarquia ou

lidade" biológica das funções sujeitas a erro. A sua aplicação só seria razoável como medida da adaptação, se também a utilidade fosse um factor que interviesse na avaliação dos resultados de um acto ou conjunto de actos.

Outra limitação resulta de termos feito, além disso, uma especificação quanto à estacionaridade de ME, que não é satisfeita por grande número das situações com interesse, para o estudo do funcionamento do S.N. ou do comportamento.

Capítulo XI

Modificação das Funções de Decisão

Até aqui, a nossa situação era de incerteza em relação à saída (output) de um operador, no caso de ignorarmos o estado da sua entrada (input) no instante precedente, e não conhecermos mais do que (1) a distribuição de probabilidade ligada aos estados possíveis da entrada, (2) a correspondência entre os estados possíveis da entrada e os estados possíveis da saída e (3) a probabilidade com que, dado um dos estados possíveis na entrada, poderá ocorrer no instante seguinte cada um dos estados possíveis da saída. Estudámos a incerteza média referente (1) ao estado de entrada, (2) ao estado de saída desconhecendo o estado da entrada, (3) ao estado de saída conhecendo o estado de entrada e (4) ao estado da entrada conhecendo o estado da saída. Introduzimos os conceitos de Canal Booleano sem ruído e Canal Booleano com ruído e estabelecemos uma distinção entre "Ambiguidade" e "Equívoco". Para que esta análise dos modelos Booleanos fosse possível, foi necessário (1) supor conhecida a priori a distribuição de probabilidades ligada aos estados dos objectos de ME, e (2) que o processo estocástico era estacionário no sentido estrito.

Os estados dos objectos de ME foram implicitamente divididos em duas classes: a formada pelos estados de objectos de ME que determinam o estado 1 nos receptores R, e B formada por aqueles que determinam o estado 0 nos receptores R.

Notámos então, que os estados dos receptores R, dos elementos neuronais e dos efectores do modelo, podem ser considerados como um mapa ou representação dos estados dos objectos de ME, e das relações entre esses estados, de acordo com a estrutura do modelo e a sucessão no tempo dos eventos de ME.

Fez por isso sentido medir a quantidade de informação ligada aos processamentos que levaram à construção de uma representação interna do mundo externo. O uso do modelo do canal sem ruído e do canal com ruído de Shannon justifica-se, uma vez que os estados dos elementos podem ser interpretados como sinais processados por um sistema de comunicação.

Por outro lado, os estados dos elementos do modelo não têm só uma significação referencial em relação aos estados dos objectos de ME. Eles são equivalentes a instruções ou comandos de que dependem os estados de transacção entre o modelo e ME.

É por isso adequado usar as mesmas funções, como correspondendo a uma medida da "informação pragmática", uma vez que, de cada conjunto de sinais processados pelos elementos do modelo, depende uma decisão de acção.

Este conceito de informação pragmática, já estava implícito na proposta de utilização da "função de equívoco", para avaliar a adequação de um modelo na perspectiva de uma adaptação às condições do ambiente.

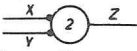
Veremos adiante quais as consequências da aplicação de medida da quantidade de informação no estudo dos processos de condicionamento.

Vamos supor, como anteriormente, que há um conhecimento a priori da pro-

babibilidade de ocorrência de qualquer estado de qualquer dos objectos de ME.

Consideremos operadores que pertencem a um dado subconjunto do conjunto dos neurónios de um modelo e as relações entre eles. Um caso particularmente interessante, é o de as relações entre esses elementos dependerem da história do sistema: isso acontece, por exemplo, nos processos de condicionamento, em que o estado de alguns dos elementos do modelo fica determinado durante um certo número de épocas, o que corresponde a uma forma elementar de memória.

1 ou do estado 0, nos neurónios de cuja entrada faz parte a saída dos elementos, cujo estado ficou determinado.

Por exemplo, no operador  de um modelo, em que a probabilidade de ocorrência dos estados 1 e 0 em x, é independente da probabilidade de ocorrência dos mesmos estados em y.

$$P(x = 1) = P(y = 1) = p$$

$$P(x = 0) = P(y = 0) = q$$

Sendo $p = 1 - q$

temos que, dadas as condições de funcionamento desse operador, a probabilidade de ocorrência, em cada época, dos estados 1 e 0 de z é, respectivamente,

$$P(z = 1) = p^2$$

$$P(z = 0) = 2pq + q^2$$

A incerteza média, por instante, respeitante a z, na ignorância de x e y, é dada por

$$H(z) = p^2 \log_2 \frac{1}{p^2} + (2pq + q^2) \log_2 \frac{1}{2pq + q^2}$$

Suponhamos que, devido a um processo de condicionamento, permanente, ou devido a uma memória transitória, o estado de uma das entradas, por exemplo x, fica determinado como $x = 1$.

Neste caso,

$$P(z = 1/x = 1) = P(y = 1) = p$$

$$P(z = 0/x = 1) = P(y = 0) = q$$

e a incerteza média quanto a z, passará a ser

$$H(z/x = 1) = H(y) = p \log_2 \frac{1}{p} + q \log_2 \frac{1}{q}$$

No caso de (a) $p < \frac{1}{2}$ a incerteza média por instante, quanto a z, aumenta pois

$$\left[\frac{1}{2} - p^2 \right] > \left[\frac{1}{2} - p \right]$$

e o máximo de incerteza estaria ligado a $p = q = \frac{1}{2}$ (b), se $p > \frac{1}{2}$ e $\left| \frac{1}{2} - p^2 \right| > \left| \frac{1}{2} - p \right|$ haverá aumento da incerteza média por instante quanto a z e se pelo contrário $\left| \frac{1}{2} - p^2 \right| < \left| \frac{1}{2} - p \right|$ haverá diminuição.

Em relação a este primeiro exemplo, vemos que,

- (1) devido à experiência anterior do modelo, a probabilidade de ocorrência do estado 1 em z, sobe de p^2 para p;
- (2) do ponto de vista de decisão, a probabilidade da decisão $z = 1$ aumenta;
- (3) no que concerne a incerteza média quanto a z pode haver diminuição ou, pelo contrário, aumento;

- (4) note-se que o efeito de fixação de $x = 1$ é equivalente a uma modificação das relações entre x , y e z . Dado que x é uma constante de z , passa a ser uma função de uma única variável Booleana, a variável y .

Essa função é a função de equivalência, definida pela tabela

y	1	0
z	1	0

Torna-se aparente a distinção entre os dois pontos de vista possíveis – por um lado, aumenta a probabilidade de uma decisão, o que é uma consequência que pode ser interpretada como exprimindo uma adaptação às variações de ME; por outro, a quantidade de incerteza não varia necessariamente no mesmo sentido que a probabilidade de uma resposta adaptativa ao estado de ME.

Isso é razoável, porque a quantidade de incerteza se refere aos sinais que no interior do modelo representam o mundo externo, quer do ponto de vista referencial, quer do ponto de vista pragmático. A quantidade de informação que um observador externo ou uma consciência reflexiva poderiam obter a respeito do ME, fica mais adequadamente representada pela redução média da incerteza do que pelo aumento da probabilidade de decisão.

Outro aspecto importante, é que a variação da incerteza média nos permite medir indirectamente a quantidade de informação que é armazenada na memória. Essa informação terá sinal negativo, no caso da entropia aumentar, o que é razoável, porque aumentaria a incerteza média (por instante) das predições, quanto a ME, que uma consciência reflexiva poderia fazer.


Designando de $H_A(z)$ e $H_D(z)$ a quantidade média de incerteza quanto a z , antes (A), e depois (D) da activação de memória, a quantidade de informação acumulada na memória será dada por

$$I_M = H_A(z) - H_D(z)$$

Um outro aspecto desta situação diz respeito aos modelos que funcionam com uma probabilidade de erro de cada um dos elementos em cada época, maior do que 0. A quantidade média de incerteza devida ao erro, corresponde, de maneira análoga ao que se passou no caso anterior, ao ponto de vista de um observador externo ou de uma consciência reflexiva.

Igualmente, poderia haver um aumento ou uma diminuição de probabilidade devido à referência a ME ser perturbada pela disfunção dos operadores do modelo. Haveria pois uma medida para uma segunda quantidade de informação, definida pela variação de quantidade média da incerteza quanto a ME, devida a erro no funcionamento dos operadores do modelo. Designando o equívoco antes e depois da memória ser activada por E_A e E_D , a quantidade de informação acumulada na memória passaria a ser definida, do ponto de vista da variação do equívoco, quanto a ME, por

$$I_E = E_A - E_D$$

Consideremos ainda o exemplo do seguinte operador  para

$$P(x = 1) = P(y = 1) = p$$

$$P(x = 0) = P(y = 0) = q$$

$$p = 1 - q$$

$$P(x \cdot y) = P(x) \cdot P(y)$$

$$H(z) = (p^2 + 2pq) \log_2 \frac{1}{p^2 + 2pq} + q^2 \log_2 \frac{1}{q^2}$$

No caso de, devido à activação de uma memória transitória ou permanente, o valor de x , por exemplo, ficar fixado para cada época como sendo 1, então $H(z/x =$

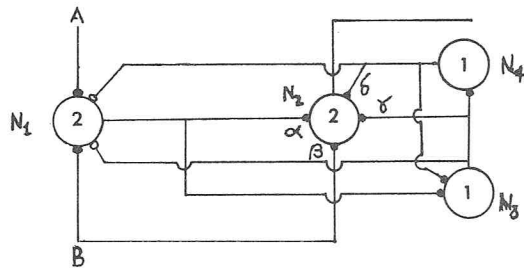
$= 1) = 0$, ou seja, anulou-se a incerteza quanto a z . Se, pelo contrário, o valor de x ficar fixado para cada época como sendo 0, então

$$H(z/x = 0) = H(y) = p \log_2 \frac{1}{p} + q \log_2 \frac{1}{q}.$$

Comparando este exemplo com o anterior, vemos que fixar o valor de x como 0 neste operador, é equivalente, do ponto de vista da quantidade de informação, a fixar o valor de x como 1 no primeiro operador.

Deve notar-se que podem tomar-se ainda outros pontos de vista, em relação à quantidade média de incerteza ligada aos processamentos realizados nos operadores neuronais. Se um comportamento é definido como mais adequado se dele resulta um aumento de informação em cada instante referente ao estado dos objectos de ME, então, será razoável especificar que do ponto de vista biológico é conveniente maximizar a incerteza média; por outro lado, se é mais adequado do ponto de vista da adaptação a ME que certas decisões sejam tomadas, esse novo critério será completamente distinto, e por vezes contraditório em relação ao primeiro. Em relação ao equívoco, pelo contrário, ambos os critérios coincidem em certa medida, porque é adequado que haja uma redução de incerteza média devido ao erro, e que diminua a probabilidade de decisões de acção tomadas a partir de uma informação errada.

A análise que fizemos em relação ao operador que examinámos em primeiro lugar pode ser aplicada ao estudo do subconjunto de neurónios que pertencem ao segundo modelo que apresentámos na secção referente aos Reflexos Condicionados.



De acordo com as especificações desse modelo (note-se que a designação numérica está aqui alterada); temos então que:

- (1) dado o estado 0 em N_1 , N_3 e N_4 , a probabilidade de ocorrência do estado 1 em N_2 na época seguinte, é nula;
- (2) dado o estado 1 em N_1 e no caso das probabilidades de ocorrência do estado 1 e 0 em A e B serem respectivamente p e $1 - p = q$, a probabilidade de ocorrência do estado 1 em N_2 na época seguinte, é p , e a do estado 0 é q .
- (3) dado o estado 1 em N_3 , a probabilidade de ocorrência do estado 1 em N_2 na época seguinte, é p , e a do estado 0 é q .
- (4) dado o estado 1 em N_4 , temos uma situação idêntica à de (3).

Note-se que (1), (2), (3) e (4) são casos mutuamente exclusivos, dada a construção do modelo a que pertence este subconjunto de neurónios, ou o que é equivalente, das quatro entradas de N_2 , só uma pode estar activa em cada época.

Para que o neurónio N_1 tenha estado activo num certo instante $t + 1$, a condição é dada pela expressão

$$N_1(t + 1) \equiv N_A(t) \cap N_B(t).$$

Se a probabilidade de ocorrência do estado 1 e 0 em A, for a mesma que em B, teremos que

$$P(N_1(t+1)) = p^2 .$$

A probabilidade de obter uma resposta condicionada antes da associação entre o estado 1 de N_A e de N_B , era nula.

A probabilidade de N_2 estar activo devido à conjunção dos estados de actividade de N_1 e de N_B , é dada por

$$P(N_1(t) \cap N_B(t)) = p^2 \cdot p = p^3 .$$

A probabilidade de N_2 estar activo devido à conjugação de estado de actividade de N_3 ou de N_4 , e de N_1 , é a mesma: p^3 .

Mas, no caso de ser dado o facto de que a associação já se realizou, então a probabilidade de ocorrência no estado 1 de N_2 , passa a ser p .

Durante o processo de condicionamento dá-se um aumento de probabilidade de ocorrência do estado 1 de N_2 devido ao estado 1 de N_3 , primeiro de 0 para p^3 e depois para p .

A incerteza quanto ao estado de N_3 , dado o conhecimento de que o condicionamento ainda nunca ocorreu, é nula; é no caso de

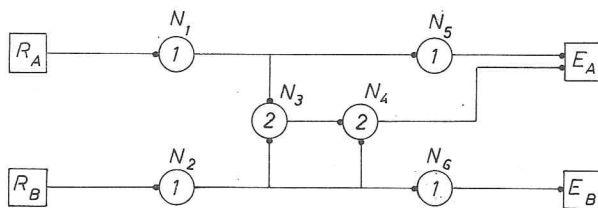
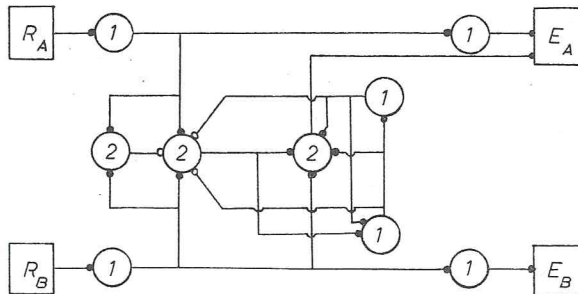
$$H(c) = p^3 \log_2 \frac{1}{p^3} + (1 - p^3) \log_2 \frac{1}{1 - p^3}$$

se saber que o processo já ocorreu mas que ainda não houve um estado de actividade de N_2 ; passa para

$$H'(c) = p \log_2 \frac{1}{p} + q \log_2 \frac{1}{q}$$

no caso de se saber que já ocorreu pelo menos uma vez o estado 1 de N_2 .

Note-se que, em relação ao modelo considerado na sua totalidade, o resultado que se obtém por condicionamento, é equivalente a uma mudança de estrutura tal que passará a poder ser representado pela rede que a seguir apresentamos.



Este tipo de análise do processo ocorrido na rede, é aplicável não só no caso determinístico do funcionamento dos neurónios em qualquer modelo, como ainda no caso em que se admite uma probabilidade de erro devida ao mau funcionamento neuronal.

Capítulo XII

Mecanismos de Comando e Controle

A acção reguladora que subconjuntos de elementos de S_0 , podem exercer sobre outros ou sobre os mesmos subconjuntos de elementos dos modelos neuronais, pode ser classificada em dois tipos fundamentais.

Designamos o primeiro caso de Regulação por Interação, e o segundo de Regulação por Reaferentação (Feedback).

Por exemplo, as memórias de S_0 podem ter uma acção reguladora, em conjunto com outras fontes de informação, sobre elementos de S_0 que lhes são sucessores. Por outro lado, cada elemento da memória exerce uma acção reguladora, por Reaferentação de informação, sobre os outros elementos da "memória" que pertencem ao mesmo laço fechado (closed loop), ou sobre elementos que actuaram sobre componentes desse laço, se para isso existem as conexões necessárias.

Igualmente a noção de comando pode ser aplicada aos elementos de S_0 , dado que o estado de um subconjunto de elementos de rede, depende do estado dos mesmos ou de outros elementos da rede, podendo então dizer-se que estes últimos os comandam. Vimos nos capítulos sobre a Motivação e Reflexos condicionados e sobre as Funções de Decisão, que as noções de controle e de comando eram importantes para a compreensão desses processos psicológicos.

Veremos adiante que dispomos dos instrumentos matemáticos necessários para formalizar os nossos conhecimentos sobre esses mecanismos, o que nos permite prever o comportamento de uma rede com laços fechados, (1) quer com a entrada mantida constantemente a 0, quer (2) sujeita a um impulso unitário isolado, isto é, precedido e seguido de sucessões de 0, ou ainda (3) sujeita a uma sucessão ininterrupta de estados 1 na sua entrada. Igualmente, é possível especificar para cada rede a função de transferência que lhe corresponde. Para isso servimo-nos da teoria algébrica dos "shift-registos" cujas operações são equivalentes a operações algébricas definidas em Corpos de Galois.

Além da regulação interna dos elementos do modelo, deve ainda ser considerada a acção de regulação exercida por S_0 sobre S_1 e ME, a de S_1 sobre S_0 e ME, e a de ME sobre S_0 e S_1 .

Ao contrário do que fizemos quando introduzimos a medida da Informação processada nos elementos dos modelos, podemos agora supor que ME não é homogéneo.

A análise dos modelos dá-nos exemplos tanto de Reaferentação Positiva como Negativa. Ao contrário da convicção corrente de que nos organismos vivos predomina a Regulação por Reaferentação Negativa, esses exemplos, bem como os resultados obtidos na construção de um modelo para os registos de Memória Permanente, sugerem a participação de mecanismos de Reaferentação tanto Negativa como Positiva.

Como exemplo desta acção reguladora de ME, sobre S_0 e S_1 , podemos con-

siderar o caso do movimento de S_c em ME, que pode ter como resultado a manutenção dos Receptores R de S_0 , e R_1 de S_1 , em contacto com objectos de ME capazes de reduzirem um Estado de Necessidade Interna.

Este mecanismo corresponde a uma regulação por Reaferentação Positiva (Feedback positivo).

Pelo contrário um movimento de S_0 e S_1 em ME tendente a reduzir a acção de objectivos de ME sobre os receptores R, corresponde a uma Regulação por Reaferentação Negativa (Feedback negativo).

TEORIA DAS REDES COM LAÇOS FECHADOS

O ponto de vista da Engenharia tem tido considerável influência na orientação da investigação das redes neuronais ou dos circuitos que lhes são equivalentes.

São hoje também correntes em neurofisiologia, os estudos em que se procura estabelecer uma relação entre uma entrada (input) e uma saída (output), que se medem, de modo a obter a especificação de uma função de transferência, que descreve de maneira exacta as operações globais realizadas pelas partes do S. Nervoso que são estudadas experimentalmente.

Por outro lado, vamos ver como conceitos análogos podem ser aplicados a classes particulares de redes lógicas.

Em 1955 David Huffman ^{306,307,308} fez um notável estudo do funcionamento de dispositivos designados "shift-registos".

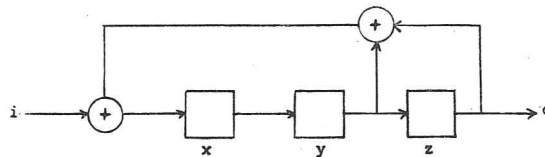
Esses dispositivos são formados por elementos de atraso (delay) representados graficamente por \square e operadores de dois tipos, \oplus e \odot , que são definidos pelas seguintes tabelas:

$$\oplus \begin{array}{cccc} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 1 & 0 \end{array}$$

$$\odot \begin{array}{cccc} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

e por linhas de conexão.

A rede seguinte, com uma entrada, uma saída e controle por reaferentação, e que será estudada em detalhe mais adiante, constitui um exemplo de uma rede deste tipo.



Admite-se que os operadores lógicos e as linhas de transmissão actuam de maneira instantânea.

Deve notar-se, em primeiro lugar, que os circuitos que acabamos de definir formam uma classe extremamente limitada. Esta classe é importante porque as propriedades das redes nela incluídas, são bem conhecidas, e em relação a elas se pode pela primeira vez falar de uma teoria completa para o seu comportamento.

A definição de novos operadores que correspondem a qualquer dos 14 restantes operadores Booleanos que definem funções de 2 variáveis (com duas entradas e uma saída), levará em geral à obtenção de redes que pertencem à classe dos circuitos não lineares.

Diz-se que os circuitos que pertencem à primeira classe são lineares, porque o estado de qualquer dos elementos de atraso do circuito, é definido como uma função linear de um subconjunto do conjunto dos elementos que o formam e das suas entradas.

Designando no circuito dado, como exemplo, o estado dos elementos do circuito num dado instante t pelos símbolos x , y e z , respectivamente, e o estado dos mesmos elementos no instante $t+1$ por x' , y' e z' , temos imediatamente que

$$\begin{aligned}x' &= y \oplus z \oplus I \\y' &= x \\z' &= y\end{aligned}$$

Exprimindo o estado do circuito no instante t pelo vector $\vec{S}_t = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$ e no instante $t+1$ por $\vec{S}_{t+1} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}$ das relações estabelecidas pelas equações (1), resulta imediatamente que

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} I \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Uma outra maneira de descrever este circuito consiste em considerar o estado da sua saída como uma função do estado da entrada e da função de transferência do circuito $P(D)$:

$$Y = P(D) \cdot X$$

em que X representa o estado da entrada, Y o estado da saída e D é um operador definido pela relação $x_{n-1} = D x_n$.

O tratamento algébrico que estamos a descrever e que foi introduzido por Huffman, Elspas,¹⁴⁹ Friedland,^{186,187} Golomb e outros,^{186,187,244,245,246 264,602,684,685} permite tratar as redes como sistemas convencionais de controle com amostragem de dados.

A primeira observação a fazer é a de que shift-registos e neurónios formais com interacção de aferentes são equivalentes.

Qualquer função Booleana de n variáveis é realizável nos shift-registos – Manuel Blum⁵⁰ demonstrou que com interacção de aferentes igualmente se podia obter para qualquer função Booleana de n variáveis um neurónio com interacção de aferentes que realizava essa função.

Nas redes neuronais, a condução ao longo dos axónios é considerada instantânea – o mesmo se passa nos shift-registos.

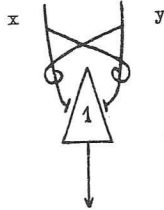
Nos shift-registos, as operações lógicas são instantâneas e o mesmo acontece nos neurónios formais.

A única diferença é que nos neurónios formais cada "atraso" é simultaneamente um operador lógico, enquanto que nos shift-registos os "atrasos" não realizam qualquer função lógica. Esta função depende exclusivamente de operadores que lhe são exteriores

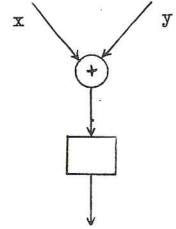
Como em ambos os casos, (1) as operações lógicas são instantâneas, (2) a cada operação realizada corresponde uma unidade de tempo de atraso antes da operação seguinte. (3) o estado do elemento de atraso corresponde em cada caso a uma função de um subconjunto do conjunto de estados dos elementos da rede e das entradas, segue-se que são equivalentes, uma vez que, (4) para qualquer função presente numa das representações é sempre possível especificar uma construção de acordo com as convenções, e que realiza a mesma função na outra representação.

"ou exclusivo"

Realização neuronal



Realização com elementos de atraso e elementos lógicos independentes



A falta de uma teoria para as redes com reafereção, impunha grandes restrições às construções que era possível realizar com neurónios formais.

Seymour Papert e Marvin Minsky⁴⁸¹ têm-se ocupado do estudo das limitações que a falta de mecanismos de reafereção pode pôr aos comportamentos de redes neuronais.

A conclusão a que têm chegado em relação a numerosos problemas, é a de que a maior parte das operações com interesse para a psicologia não são realizáveis sem memória, dada pela reafereção ou pela introdução de um conjunto adequado de elementos de atraso.

Suponhamos que definimos uma rede linear como tendo uma saída (output) que é igual à soma (módulo 2) da saída um instante antes, da saída três instantes antes, da entrada (input) nesse instante, um instante antes e dois instantes antes.

Seja X a entrada (input), Z a saída (output)

Temos então que

$$Z = Z D \oplus Z D^3 \oplus X \oplus X D \oplus X D^2$$

Reorganizando a expressão anterior

$$Z \oplus Z D \oplus Z D^3 = X \oplus X D \oplus X D^2$$

$$Z (1 \oplus D \oplus D^3) = X (1 \oplus D \oplus D^2)$$

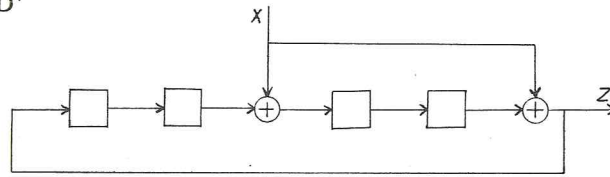
$$Z = X \frac{1 \oplus D \oplus D^2}{1 \oplus D \oplus D^3}$$

Temos então que a expressão $\frac{1 \oplus D \oplus D^2}{1 \oplus D \oplus D^3}$ é a função de transferência do circuito.

Esta interpretação resulta de qualquer sucessão de 1 e 0, quer da entrada quer da saída, ser considerada como um polinómio de forma $a_0 \oplus a_1 x \oplus a_2 x^2 \oplus \dots \oplus a_n x^n$ em que os a_i são ou 0 ou 1, e a posição desses dígitos marca o expoente de D que corresponde a cada termo, e admitindo que a sequência de dígitos binários corresponde a termos em que os de expoente mais elevado entram no input da rede depois dos de expoente menos elevado, e os expoentes estão bem ordenados por ordem decrescente. O resultado que se obtém por operação da rede é um polinómio que corresponde à multiplicação do polinómio anterior pelo polinómio que exprime a função de transferência.

Para fazer a síntese da rede o procedimento é imediato, aplicando a relação $x_{n-1} = D x_n$:

$$Z = X \frac{1 \oplus D^2}{1 \oplus D^4}$$



Esta expressão $\frac{1 \oplus D^2}{1 \oplus D^4}$ corresponde a uma função de transferência convencional da teoria do controle.

Um dos pontos mais importantes é que nos podemos servir dos teoremas das estruturas algébricas dos Corpos de Galois para construirmos toda a teoria do controle destes circuitos para o caso linear.⁵³⁵

Consideremos novamente a expressão que definiu o comportamento da rede apresentada no exemplo anterior.

É uma expressão da forma:

$$\vec{S}_{t \oplus 1} = T \cdot \vec{S}_t \oplus U \cdot \vec{I}_t$$

A matriz T é a matriz característica do circuito. Se a entrada for mantida constantemente a zero, o segundo termo da expressão anterior anula-se porque $\vec{I}_t = 0$.

Para esse caso verifica-se:

$$\vec{S}_{t+1} = T \cdot \vec{S}_t$$

Se subtrairmos a T, a matriz $x \cdot I$, obtém-se $T - xI$, cujo determinante $|T - xI| = p(x)$ é o polinómio característico do circuito.

A equação correspondente a este polinómio $p(x) = 0$ é a equação característico do circuito. Digamos já que a relação entre este polinómio $p(x)$ e o polinómio $p(D) = Q(x)$ que introduzimos como função de transferência do circuito é definida pela expressão:

$$p(x) = x^* Q(1/x) = Q^*(x) \quad \text{conjugado de } Q(x)$$

Denominando de y_i os x_i da relação que envolvia o operador D, o operador x é definido pela relação $y_n = xy_{n-1}$, isto é, $x = D^{-1}$ como resulta das relações que definimos.

Esta relação em que os polinómios $p(x)$ e $Q(x)$ são conjugados um do outro surge porque os operadores D e a variável x são em certo sentido inversos: D refere-se aos valores passados, x aos valores futuros numa sequência de dígitos,

Vamos seguir, em relação ao caso linear, a exposição de B. Elspas.

Caso 1 - Circuito com Polinómio Característico Irreduzível

Seja $p(x) = |T - xI|$, um polinómio irreduzível, e $p(x) = 0$.

Existirão valores n para os quais a expressão $x^n - 1$ é divisível por p(x) sem resto.

Quer dizer

$$x^n - 1 = p(x) q(x) \quad p(x) = 0$$

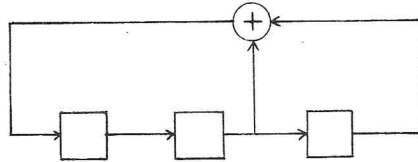
$$x^n - 1 = 0 \quad x^n = 1$$

como pelo teorema de Cayley - Hamilton uma matriz satisfaz a sua própria equação característica, temos então que, substituindo nas expressões anteriores x por T, $T^n = I$.

Por outro lado, se um circuito parte de um certo estado S_t , tem um certo comportamento autónomo $\bar{S}_{t+L} = T^L \cdot \bar{S}_t$. A condição para que haja um ciclo é que $\bar{S}_{t+L} = \bar{S}_t$ o que implica que $T^L = I$. Como esta condição é dada por $T^n = I$, o problema que nos interessava está resolvido: o circuito tem um ciclo máximo de oscilação cujo comprimento é igual ao menor n para o qual $x^n - 1$ é dividido por $p(x)$ sem resto.

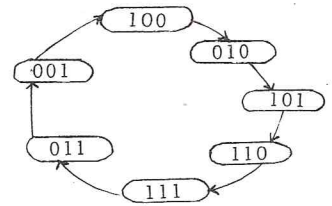
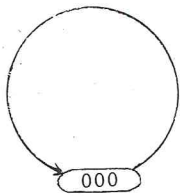
Para um circuito de n elementos será em muitos casos $2^n - 1$.

O circuito que apresentámos no exemplo inicial, tem um comportamento autónomo com dois ciclos possíveis:



quer dizer $1 = 2^n - 1 = 7$

Usando diagramas de estados temos respectivamente:



Existem tabelas com os polinómios irredutíveis com coeficientes que pertencem a CG (2), completas até polinómios de grau 34 e com alguns polinómios com aplicações interessantes até grau 95.

Uma rede de 38 neurónios cujo polinómio característico seja irredutível, terá um ciclo de oscilação da ordem de $2^{38} - 1$, quer dizer, um computador que imprimissem 38 dígitos binários por milissegundo, teria de trabalhar durante 100 anos aproximadamente para descrever o comportamento da rede.

No entanto essa rede, uma vez que há trinómios irredutíveis de grau 38, teria apenas dois laços, um único adicionador módulo 2, os restantes elementos seriam elementos de atraso e o comprimento do ciclo de oscilação pode ser obtido pela simples consulta e uma tabela de polinómios.

As sequências de dígitos a que estamos fazendo referência têm grande importância na codificação e as expressões algébricas de que estamos tratando permitem projectar filtros, codificadores, decodificadores com as características desejadas.

Deve notar-se que o caso anterior dizia respeito apenas a circuitos cujo polinómio característico fosse irredutível.

Polinómio Característico Factorizável

Caso II - Factores não repetidos

Se $p(x)$ for factorizável em n factores irredutíveis

$$p(x) = p_1(x) \cdot p_2(x) \dots p_n(x)$$

Cada um dos factores $p_i(x)$ define um sub-espaço U_i componente do espaço vectorial total, formado por n -tuplos de números p -nários (operações módulo p , p qualquer primo).

Cada U_i é um sub-espaço linear fechado sob a operação T , quer dizer, TU_i

pertence a U_i sempre que X esteja em U_i , uma vez que

$$p_i(T)TX = T p_i(T)X = 0$$

Além disso, os sub-espacos U_i são disjuntos, sobrepondo-se apenas na origem, e, em conjunto, compõem todo o espaco U , desde que os factores $p_i(x)$ sejam primos relativamente uns aos outros, porque (1) Se $M_i \subset U$; então existe um certo polinómio $p_i(x)$, único no que concerne à multiplicação por elementos não nulos do anel dos polinómios em x , e tal que $U_i \subset CG(p(x))$ sss $p(x)$ é divisível por $p_i(x)$, e, por outro lado, (2) seja $n > 0$ e sejam $p_1(x), p_2(x), \dots, p_n(x)$, polinómios com o menor múltiplo comum $p(x)$. Então, $CG(p_1(x)) + CG(p_2(x)) + \dots + CG(p_n(x)) = CG(p(x))$.

Assim, o comportamento de T sobre todo o espaco pode ser descrito considerando a sua acção separadamente sobre cada um dos sub-espacos.

Dentro de cada sub-espaco U_i a matriz T comporta-se como uma matriz cujo polinómio característico $p_i(x)$ é um polinómio irredutível.

Assim, a estrutura do ciclo dentro de U_i é definida pela regra demonstrada na secção precedente. Isto é, a estrutura do ciclo em U_i é dada por um ciclo de comprimento 1 mais μ_i ciclos de comprimento k_i

$$\mu_i = \frac{x^{k_i} - 1}{p_i(x)} \quad \text{sendo o grau do polinómio } p_i(x)$$

O período k_i é como no caso anterior, o menor inteiro, tal que $p_i(x)$ divida $x^{k_i} - 1$ (módulo p).

Podemos representar esta estrutura do ciclo por $(1, \mu_i(k_i))$, em que o número entre parenteses k_i é o comprimento do ciclo e a multiplicidade dos ciclos é dada por μ_i .

Qualquer vector (n-tuplo, p-nário) no espaco total pode ser expresso de maneira única como uma soma de vectores, um de cada sub-espaco U_i . Então a soma destes vectores componentes, nomeadamente o vector original, pertencerão a um ciclo cujo comprimento é o menor múltiplo comum dos k_i .

Todos os ciclos presentes no "diagrama de estados" total consistirão de menores múltiplos comuns de subconjuntos dos k_i .

Se considerarmos cada estrutura de ciclos $(1, \mu_i(k_i))$ como somas $1 + \mu_i(k_i)$, poderemos caracterizar facilmente o conjunto de ciclos multiplicando as expressões que correspondem a cada um dos polinómios.

A regra de multiplicação é a seguinte:

$$\left[1 + \mu_i(k_i) \right] \left[1 + \mu_j(k_j) \right] = 1 + \mu_i(k_i) + \mu_j(k_j) + \mu(k) \quad \text{em que}$$

$$\mu = \mu_i \mu_j \text{ mdc } (k_i, k_j)$$

$$k = \text{mmc } (k_i, k_j)$$

Caso III - Um Único Factor Repetido

Consideremos o caso de um polinómio característico $\varphi(x)$ que é uma potência de um polinómio irredutível $\varphi(x) = [p(x)]^m$.

A matriz T que pertence a este polinómio característico tem de satisfazer

$$\varphi(T) = [p(T)]^m = 0.$$

Se é também verdade que $p(T) \neq 0$ para qualquer inteiro n , $n < m$, diz-se então que T tem $\varphi(x)$ como seu polinómio mínimo. Este é o caso que se verifica sempre nos shift-registos ou nas redes neuronais com reafereção.

Para qualquer inteiro $p = 0, 1, \dots, m$, a matriz $[p(T)]^m$ terá um certo es-

paço nula, U_j ; quer dizer, haverá certos vectores para os quais $[p(T)]^j X = 0$.

O espaço nulo U_0 conterà apenas a origem 0, enquanto que o espaço nulo U_m conterà todo o espaço.

Cada U_j estará inteiramente incluído no espaço nulo imediato, U_{j+1} .

Além disso, estes espaços nulos são invariantes sob a operação T .

Quando T é considerada como uma transformação restringida ao sub-espaço U_j , esta transformação restrita, chamemos-lhe T_j , terá como polinómio característico $[p(x)]^j$.

Portanto, a dimensionalidade de U_j será jd , em que d é o grau de $p(x)$.

O número de estados em U_j é então p^{jd} .

Resulta daqui que todos os estados que pertencem a U_j e não a U_{j-1} , isto é, que são membros de $U_j - U_{j-1}$, estão incluídos em ciclos cujo período é o do polinómio $[p(x)]^j = 0$.

Lema: o período do polinómio $[p(x)]^j = 0$, é kp^{nj} , onde k é o período de $p(x) = 0$, e n_j é o menor inteiro que satisfaz a condição $p^{n_j} \geq j$.

A consequência da demonstração deste lema é que todos os estados $U_j - U_{j-1}$, estão incluídos em ciclos de comprimento kp^{nj} .

Mas há $p^{jd} - p^{(j-1)d} = p^{(j-1)d}(p^d - 1)$ estados em $U_j - U_{j-1}$.

A multiplicidade desses ciclos é então

$$\mu_j = \frac{p^{d(j-1)}(p^d - 1)}{kp^{nj}}$$

A estrutura completa do diagrama de estados para uma rede com polinómio característico $[p(x)]^m$ é uma série de sub-espaços parcialmente sobrepostos U_0, U_1, \dots, U_m , começando com a origem U_0 e terminando com o espaço total U_m . Cada um destes sub-espaços junta aos ciclos presentes nos sub-espaços inferiores, um conjunto de μ_j ciclos, cada um de comprimento kp^{nj} .

Caso IV - Mais do que um Factor e Factores Repetidos

Quando $\varphi(x)$ é factorizável, mas contém factores primos distintos e repetidos, a situação é mais complexa.

A situação é completamente caracterizada por um conjunto de divisores elementares, $[p_1(x)]^{e_{i1}}, [p_2(x)]^{e_{i2}}, \dots, [p_k(x)]^{e_{ik}}$; $i = 1, 2, \dots, n$, onde os $p_n(x)$ são polinómios distintos e irredutíveis, factores de $p(x)$, em que $e_{i1} \geq e_{i2} \geq \dots \geq e_{ik}$ e em que $m(x)$, o polinómio mínimo de T , é o produto dos factores elementares de expoente mais elevado $[p_n(x)]^{e_{in}}$.

O conjunto de ciclos para T é então o produto dos conjuntos de ciclos de cada um dos divisores elementares $[p_n(x)]^{e_{in}}$.

Assim, o problema geral foi reduzido ao de encontrar o conjunto de ciclos para uma rede em que $\varphi(x) = m(x) = (p(x))^e$, problema já resolvido na secção anterior.

LINEARIZAÇÃO DAS REDES NÃO LINEARES

As redes lineares têm sido extensamente estudadas desde os trabalhos iniciais de David Huffman.

Huffman^{306,307,308}, Golomb^{244,245}, Elspas¹⁴⁹, Zierler⁶⁸⁵, Friedland^{186,187}, Stern⁶⁰⁸, Hartmannis²⁶⁴, Massey^{451,452,453} e outros, criaram uma teoria geral para este tipo de redes. Este progresso foi devido principalmente à identificação das operações realizadas por estes circuitos com operações algébricas definidas em Corpos de Galois. Não existia, no entanto, uma teoria geral para as redes não lineares.

Apresentámos, em colaboração com W. McCulloch, um método geral de li-

nearização de redes não lineares com reafereção, com ou sem inputs. Este método permite tratar qualquer rede não linear usando a teoria dos circuitos lineares.

A solução que encontramos estende o método usado por Fukunaga¹⁹⁰, e que se aplica apenas ao comportamento autónomo das redes não lineares com reafereção, ao caso completamente geral de qualquer rede com reafereção, com qualquer número de inputs através de qualquer operador.

Teorema: Qualquer rede com reafereção com qualquer número de inputs através de quaisquer operadores, admite uma forma linearizada, obtida introduzindo um conjunto finito de novas variáveis.

Demonstração: Dada uma rede com variáveis de entrada (input) $x_1, x_2, \dots, \dots, x_n$ e as variáveis que definem os estados dos elementos de atraso (delay) y_1, y_2, \dots, y_m , podemos sempre escrever a expressão que dá o próximo valor de qualquer variável que corresponde a um elemento de atraso.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_m)$$

na sua forma normal disjuntiva.

Seja a expressão seguinte a forma disjuntiva normal de uma destas expressões:

$$f_1(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m) = a_0 x_1 \dots x_n y_1 \dots y_m \cup a_1 \bar{x}_1 x_2 \dots y_1 \dots y_m \cup \dots \cup a_k \bar{x}_1 \bar{x}_2 \dots \bar{x}_n \bar{y}_1 \bar{y}_2 \dots \bar{y}_m$$

Como os termos da equação (1) correspondem a casos mutuamente exclusivos, podemos substituir \cup por \oplus e, como para qualquer variável x_i

$$\bar{x}_i = x_i \oplus 1 \quad (\text{módulo } 2)$$

e

$$x_i \oplus x_i = 0$$

fazendo em (1) as substituições correspondentes, obtemos

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_m) = & b_0 1 \oplus \\ & \oplus b_1 x_1 \oplus \oplus b_n x_n \oplus b_{n+1} y_1 \oplus \dots \oplus a_{n+m} y_m \\ & \oplus b_{n+m+1} x_1 \bar{x}_2 \oplus \dots \oplus b_{n+m+k} y_{m-1} y_m \oplus \\ & \oplus b_{n+l+1} x_1 x_2 x_3 \dots \\ & \vdots \\ & \oplus b_r x_1 x_2 \dots x_n y_1 y_2 \dots y_m \end{aligned}$$

onde qualquer b_i é uma constante ou 1 ou 0, e, devido a (3), nenhum termo aparece mais do que uma vez.

Notemos que esta é a "forma canónica em" ou "exclusivo" e portanto, em geral, numa rede com n inputs e m elementos de atraso, para a linearizar teremos que introduzir $2^{n+m} - n$ variáveis, correspondendo aos termos em que figuram como factores de um produto mais que uma variável que x_i quer y_i .

Uma vez que o estado de qualquer elemento de delay do circuito pode ser expresso por uma equação da forma (4), o estudo do circuito será completamente definido por m equações linearizadas.

Exemplo (1): Seja

$$f(x, y, z) = \bar{x} y z \cup x \bar{y} z \cup x y \bar{z} \cup \bar{x} \bar{y} \bar{z} =$$

$$\begin{aligned}
 &= \bar{x} y z \oplus x \bar{y} z \oplus x y \bar{z} \oplus \bar{x} \bar{y} \bar{z} = && \text{por 1} \\
 &= (x \oplus 1) y z \oplus x (y \oplus 1) z \oplus x y (z \oplus 1) \oplus \\
 &\quad + (x \oplus 1) (y \oplus 1) (z \oplus 1) = && \text{por 2} \\
 &= x \oplus y \oplus z \oplus 1 && \text{por 3}
 \end{aligned}$$

quer dizer, apenas a constante 1 é acrescentada à soma das variáveis originais; esta expressão pode ser representada gráficamente por



Uma generalização imediata é a extensão do método de linearização às expressões algébricas de n variáveis, em que as operações são realizadas sobre CG (p), p um primo. Nesse caso, para linearizar a expressão será necessário introduzir no máximo $p^{n+m} - n$ novas variáveis.

APLICAÇÃO DA TEORIA DAS REDES LINEARES AOS SHIFT-REGISTOS COM REAFERENTÇÃO (FEEDBACK) LINEARIZADOS, E COM OPERAÇÕES DEFINIDAS EM CG (CORPOS DE GALOIS)

O estado de um elemento de atraso de um circuito linear em qualquer época é determinado por uma combinação linear de um subconjunto de entradas da rede e de saídas de um subconjunto do conjunto de elementos de atraso da rede.

$$z = a_1 x_1 \oplus \dots \oplus a_n x_n \oplus a_{n+1} y_1 \oplus \dots \oplus a_{n+m} y_m$$

Os termos presentes depois da linearização formam duas classes A e B.

- (A) é uma classe com termos de forma linearizada, em que não está presente nenhuma das variáveis da entrada.
- (B) é uma classe com termos em que, pelo menos uma variável da entrada, está presente.

Seja \vec{S}_j um vector cujos k componentes são os estados dos k elementos de atraso de um shift-registo de ordem k, numa dada época j. Esse vector define o estado da rede nessa época.

Seja \vec{I}_j o estado das u entradas externas no fim da época j.

Seja T a matriz n x n que, para cada elemento de atraso, especifica o subconjunto de elementos de atraso cujo estado na época j determina o seu estado na época j + 1 e seja U a matriz n x n que, para qualquer elemento de atraso, especifica o subconjunto de \vec{I}_j cujo estado no fim da época j determina o seu estado na época j + 1.

Então, o estado de um circuito em qualquer época, dado j + 1, é dado por $\vec{S}_{j+1} = T \vec{S}_j \oplus U \cdot \vec{I}_j$

O comportamento autónomo é definido como o comportamento de uma rede quando o seu input é constantemente mantido a 0. Nesse caso, a equação (5) transforma-se em $\vec{S}_{j+1} = T \vec{S}_j$

Usando a definição de comportamento autónomo e a de (A) e (B), os únicos

termos que contribuem para esse comportamento pertencerão a (A).

Uma rede não linear de ordem n será incluída numa rede maior e linear e a estrutura dos ciclos, transientes e estados estáveis que correspondem à rede linearizada com as seguintes limitações:

- (a) Nenhum ciclo da rede linear, que possa corresponder a um ciclo da rede não linear, pode ter um comprimento maior que 2^n , sendo n o número de elementos de atraso da rede não linear.
- (b) Todos os estados que pertencem a transientes que conduzem ao estado $0\ 0\ \dots\ 0$, quando, depois da linearização uma constante permanece na expressão que exprime qualquer das funções da rede linearizada.
- (c) A soma de todos os ciclos possíveis, transientes e estados estáveis da rede linear e que correspondem ao comportamento não linear têm que somar 2^n .
- (d) Os novos termos que pertencem a (A) não podem tomar valores incompatíveis com os valores assumidos pelas variáveis iniciais das quais elas dependem.

A estrutura dos ciclos transientes, a que se aplicam as precedentes restrições, foi completamente tratado por Elspas e Friedland, para o caso das operações módulo p (p qualquer primo).

Consideremos agora o caso no qual todos os inputs são constantemente mantidos no estado 1. É imediatamente aparente, para funções sobre o CG (2), que as expressões Booleanas que determinam o estado de qualquer dos atrasos, podem ser transformados e, possivelmente ainda, mais simplificados, substituindo por 1, nesta expressão, todas as variáveis da entrada e aplicando (3) do T_1 .

O comportamento da rede, quando o estado da entrada for constante e igual a 1, será equivalente ao comportamento autónomo da rede que se obtém quando se fizerem a substituição e a simplificação.

Pode definir-se um novo tipo de comportamento, que consiste em manter $n - m$ entradas com valor 1 e m entradas com valor 0.

A substituição adequada conduzirá, em geral, a um diferente conjunto de expressões para cada diferente especificação de entradas que são mantidos constantemente a 1.

Todos esses casos podem ser tratados como se correspondessem ao comportamento autónomo da rede que é obtida depois da substituição das variáveis da entrada correspondente por 1 e depois da simplificação.

Como todos os resultados são válidos para operações módulo p (p qualquer primo), qualquer sistema em que as operações são sobre um conjunto finito de números, podem ser aproximados por operações num CG, estabelecendo a correspondência entre os números reais que pertencem a um de entre um conjunto de intervalos especificados e um elemento do corpo.

Quando a estatística de parte de sinais seja conhecida, a função "distorção do caudal", de Shannon,⁵⁸⁹ especificará o número de dígitos binários que se requerem para representar uma dada mensagem, de maneira a satisfazer um critério de fidelidade convencional. Um critério usual é o erro médio quadrático.

é respectivamente

$$l_{\text{med}} < 2 \log_2 L$$

$$\bar{l} < 3 \log_2 L + 0,5$$

Demonstração

Escolhendo na sucessão dos s_i qualquer $i < j$ e definindo $\bar{s}_i = 1 \oplus s_i$ temos

$P(s_i s_{i+1} \dots s_{i+1-2} s_{i+1-1} = s_j s_{j+1} \dots s_{j+1-2} s_{j+1-1}) = 2^{-1}$, isto é a probabilidade do evento E_{ij} , em que $L-1$ dígitos são os mesmos mas o último difere é 2^{-1} .

Então, a probabilidade de que, de acordo com o algoritmo se tenha de escolher um $f > 1$ é $\text{Pr}(f > 1) = \text{Prob. de que } s_1, s_2, \dots, s_L \text{ contenha pelo menos duas subsucessões de comprimento } l \text{ que começam cada uma em posições diferentes da sucessão } S \text{ e que são idênticas excepto no que se refere ao último dígito que numa é } s_{j+1-1} \text{ e na outra } \bar{s}_{j+1-1}$,

$$\text{é } \text{Pr}(f > 1) = \text{Pr}(u_j E_{ij}) = \frac{1}{2} (L-1) L \cdot 2^{-1}$$

Seja l_m o comprimento mediano. Por definição,

$$P(f \geq l_m) = \frac{1}{2}$$

mas

$$P(f \geq l_m) \leq \frac{1}{2} (L-1) L \cdot 2^{-l_m}$$

pela equação anterior

$$\frac{1}{2} \leq \frac{1}{2} (L-1) L \cdot 2^{-l_m} \quad \text{ou}$$

$$2^{+l_m} \leq (L-1) L < L^2$$

e portanto

$$l_{r1} < 2 \log_2 L$$

Seja \bar{l} o comprimento médio, isto é,

$$\bar{l} = \sum_{l=0}^L l \text{Pr}(f=l)$$

para qualquer inteiro l'

$$\bar{l} = \sum_{l=0}^{l'} l \text{Pr}(f=l) + \sum_{l=l'+1}^L l' \text{Pr}(f=l')$$

$$\bar{l} \leq l' \text{Pr}(f < l') + L \text{Pr}(f = l')$$

$$\leq l' + L \text{Pr}(f = l')$$

escolhendo

$$l' = 3 \log_2 L$$

$$\bar{l} = 3 \log_2 L + L \cdot \frac{1}{2} \cdot L \cdot (L-1) 2^{-l'}$$

$$\bar{1} < 3 \log_2 L + \frac{1}{2} L^3 \cdot 2^{-3 \log_2 L} = 3 \log_2 L + \frac{1}{2}$$

portanto

$$\bar{1} < 3 \log_2 L + \frac{1}{2}$$

O algoritmo que apresentámos, permite armazenar sucessões de dígitos binários, não como um estado permanente dos neurónios do modelo, nem sob uma forma dinâmica reverberante, mas por um conjunto de conexões entre esses elementos. A informação armazenada estará nas relações entre os elementos e não em algum deles exclusivamente.

A estratégia é a seguinte: em vez de se especificar uma rede neuronal capaz de armazenar sucessões de dígitos binários, define-se uma rede que realiza as funções do algoritmo. Essa rede será capaz de especificar, para cada sucessão finita de dígitos binários de comprimento adequado, uma rede com reafirmação, capaz de produzir uma sucessão igual à considerada, usando para isso um número mínimo de elementos.

Sob comando, a rede especificada reproduzirá a sucessão inicial para que possa ser comparada com outra sucessão que ocorreu anteriormente, ou de modo geral, para que essa informação intervenha em posteriores processamentos, num modelo que engloba tanto o algoritmo como outras estruturas de tipo diferente.

FIDELIDADE NA REPRODUÇÃO DE EVENTOS FINITOS INCLUÍDOS NUMA SUCESSÃO QUE SE ESTENDE ATÉ UM PASSADO ARBITRARIAMENTE REMOTO

Além das condições já especificadas vamos supor que são satisfeitas as condições seguintes: (1) a rede é mantida no estado $00\dots 0$ em todas as épocas que pertencem a um intervalo entre dois períodos de leitura da memória, por meio de um processo que em cada uma dessas épocas restabelece o estado $00\dots 0$ da rede. (2) Este processo de restabelecimento tem a probabilidade P_1 de ocorrer, em cada uma dessas épocas e a probabilidade $Q_1 = 1 - P_1$ de não ocorrer (3) para uma sucessão de dígitos binários de comprimento L supõe-se que o restabelecimento do estado $00\dots 0$ ocorre periodicamente com o período L durante a leitura da memória, (4) dado um estado qualquer da rede durante o período da leitura a probabilidade de o estado seguinte da rede ser o sucessor especificado pelo algoritmo de síntese, é p .

Nessas circunstâncias, no caso de não haver erro, a rede produz cíclicamente, durante o período de leitura, uma sucessão de dígitos binários de período L .

Para uma sucessão de comprimento L , a probabilidade de que a sucessão de estados da rede não contenha qualquer erro é $P_s = p^L$ em resultado das condições anteriores.

Teorema

Nas condições especificadas em (1), (2), (3) e (4), a probabilidade de ocorrência da sucessão L em seguida a um estado $00\dots 0$, durante o período de leitura é pelo menos $P_1 \cdot p^L$. Isto é, pode obter-se com fidelidade arbitrária a reprodução de uma sucessão que ocorreu num passado arbitrariamente distante, tomando apenas medidas que assegurem a fidelidade das operações que ocorrem durante $L + 1$ épocas.

Demonstração

$P [\vec{S}(t) = \vec{0}] = P$ (restabelecimento do estado $\vec{0}$ ocorrer no instante t) + P (não restabelecimento do estado $\vec{0}$ em t) . P (sucessor de $\vec{S}(t-1)$ ser $\vec{0}$) $\geq P$ (restabelecimento do estado $\vec{0}$ ocorrer em t).

Como $P_S = p^L$, o limite inferior para a probabilidade de ocorrência de S que é completamente independente de $t-k$ para $k \geq 1+1$ é dado por $P = P_1 \cdot p^L$. P é um limite inferior e não a probabilidade de S , porque não se toma em consideração a possibilidade de ocorrer uma sucessão correcta de estados mesmo no caso do restabelecimento inicial do estado $\vec{0}$ não ter ocorrido.

Por outro lado, se nos interessarmos apenas pelo estado da saída da rede, então poderá ter acontecido que (1) a operação de restabelecimento de $\vec{0}$ foi eficaz mas foi seguida de qualquer combinação de estados e de erros tais que o estado da saída foi o especificado, apesar dos erros; (2) a operação de restabelecimento de $\vec{0}$ não ocorreu, mas $\vec{S}(t-1)$ era um predecessor de $\vec{0}$ e ocorreu o comportamento descrito em (1); (3) a operação de restabelecimento do estado $\vec{0}$ não ocorreu, e $\vec{S}(t-1)$ não era um predecessor de $\vec{0}$, mas ocorreu comportamento igual ao considerado em (1).

Teorema

Quando as medidas tomadas para assegurar a ocorrência da operação de restabelecimento do $\vec{0}$, que precede imediatamente a sucessão S de comprimento L , tendem para uma segurança absoluta sem jamais a atingir, então, no limite, a produção da sucessão correcta dependerá de um processo Markoviano de ordem $L + 1$.

Demonstração

Resulta imediatamente de se anular a probabilidade dos casos (2) e (3) quando $P_1 \rightarrow 1$; no limite ocorre sempre o caso (1).

MODELOS DOS PROCESSOS DE MEMÓRIA NO S.N. CONSTRUÍDOS COM BASE NESTES RESULTADOS

O algoritmo que apresentámos, e o método de armazenamento de sucessões de dígitos binários, satisfazem muitas das especificações que se podem fazer para um modelo de memória, tomando em conta as hipóteses correntes sobre as características dos processos que servem essa função no S.N.

Nomeadamente, o conteúdo de uma "memória" não é representado exclusivamente pelo estado dos neurónios. A armazenagem depende também das relações entre esses estados, que são definidas pelas conexões entre esses elementos e pelos seus limiares. Assim, uma memória está distribuída por todos os neurónios da rede.

Uma outra característica do modelo é o estado de repouso dos neurónios, excepto durante os períodos de leitura da sucessão armazenada. Esse facto depende de um processo homeostático que tende a manter esses neurónios em estado de repouso, excepto quando recebem um comando de funcionamento.

Ainda outro aspecto importante, é o de se conseguir uma compressão muito elevada no espaço necessário para armazenar sucessões de dígitos binários, numa forma permanente.

O algoritmo que apresentamos ou o algoritmo de Massey⁴⁵¹ para a síntese de Shift-Registos lineares, pode ser tomado como um modelo para o processo pelo qual por mediação dos Corpos Mamilares e do Hipocampo, ocorre a transformação de uma sucessão transitória de impulsos e intervalos entre impulsos, numa estrutura perma-

nente de relações inter-neuronais.

Para isso, um conjunto de neurónios, organizados numa estrutura que tornaria improváveis os erros de funcionamento, durante um lapso de tempo limitado do seu funcionamento, imporá uma modificação nas conexões de neurónios organizados numa matriz, em que cada neurónio agiria sobre todos os restantes e sobre si mesmo, e que seria capaz, no seu estado inicial, de todos os modos de oscilação. Em consequência dessa modificação, que poderia ser permanente ou transitória, apenas seria possível o modo de funcionamento definido pelo algoritmo.

A diferença principal entre uma realização deste tipo e o algoritmo, tal como o descrevemos, seria que enquanto o algoritmo é definido matematicamente como sendo aplicado sem erro, pelo contrário, o funcionamento dos neurónios que o representam seria sujeito a erros.

Os resultados sugerem ainda a extensão dos modelos de Shift-Registos propostos por Pattee para a síntese de macromoléculas, de tal modo que um esquema semelhante ao do algoritmo de síntese possa ser usado como explicação, para o armazenamento de "memórias" em moléculas de RNA.

No esquema que estamos a propor, ao nível de abstracção adoptado não se fez qualquer opção quanto à localização das modificações nas sub-estruturas neuronais, embora seja claro que elas poderiam ocorrer nas sinapses, nas ramificações axonais ou dendríticas, ou simultaneamente em mais do que uma destas sub-estruturas.

Este modelo, sugere um mecanismo possível para a aprendizagem que ocorre de maneira rápida e sem necessidade de grande repetição das situações, durante certos períodos da vida dos animais, e que os etologistas designam de Impressão (Imprinting)⁶²¹.

De maneira muito simplificada, podemos dizer que nesses períodos a ocorrência de uma certa sucessão de impulsos e intervalos entre impulsos que representa a configuração de estímulos do ME, bem como a cópia eferente dos comandos de acção que foram usados nessa situação (Efferenz Kopie).

Quando ulteriormente tem lugar uma outra situação de transacção semelhante, a sucessão de impulsos e intervalos entre impulsos é comparada com a armazenada sob forma permanente. No caso de haver congruência entre ambas as sucessões é então interrogada a memória que guarda a sucessão de comandos para a acção, ocorrendo um comportamento semelhante ao inicial.

Pelo contrário no condicionamento de tipo I ou de tipo II, no Condicionamento Operacional ou ainda na aprendizagem por Tentativa e Erro, esta fixação sob forma duradoura depende da congruência dos resultados da acção durante um certo lapso de tempo ou de associações repetidas entre pares de sucessões de impulsos e intervalos entre impulsos, que descrevem os estímulos de ME.

A este nível de complexidade dos mecanismos de aprendizagem é razoável, como propõem W. Killmer³⁶⁴ e W. S. McCulloch, que embora seja muito elevado o número de actos diferentes que são possíveis, o mesmo não acontece em relação aos modos de acção. No modelo de W. Killmer e de W. S. McCulloch "modo de acção" é entendido como uma característica geral do funcionamento do S.N., em relação com o objectivo das estratégias que o Sistema Nervoso adopta numa situação de transacção. Ao nível mais elementar, o único que foi até agora explorado em modelo, é possível falar de modos de "exploração", "ataque", "defesa", "alimentar", etc.

Quer dizer, procurou-se a analogia com os comportamentos que ocorrem em relação com as motivações básicas e atribuiu-se essa função ao Sistema Reticular.

Assim, é provável que seja necessário um conjunto de operações realizadas durante um certo lapso de tempo para que o S.N. compare a informação relevante, realizando um processo lógico abductivo que conduz à decisão quanto ao modo que é preferível. Este processo seria também distinguível como uma forma de aprendizagem e em relação a ele também o algoritmo poderia levar à fixação duradoura de certas estruturas neuronais cuja acção se mostrou eficaz.

Em 1967 apresentámos um modelo de rede com Reaferentação, que é adequado para o comando intencional de outras estruturas neuronais ou de efectores.

Essa rede tem informação sobre o que se passa em ME através de uma ou mais entradas.⁴⁶⁶ É possível programá-la de tal maneira que pode passar por um ou mais ciclos de oscilação diferentes, independentemente do estado da entrada, ou pelo contrário na dependência desses estados.

A passagem de um ciclo de oscilação para outro pode também depender da maneira que for conveniente do estado da entrada.

Nestas circunstâncias, é legítimo considerar as estruturas deste tipo como capazes de uma acção de comando e de controle, que, para um observador externo, aparecerão como dando lugar a um comportamento intencional. Esse comportamento é dirigido para certos objectivos tomando em conta o próprio estado interno do sistema, o estado de ME e o resultado das acções ocorridas em consequência dos seus comandos.

Surge aqui a possibilidade de representar em modelo certos tipos de operações que são correntemente considerados como correspondendo a Processos Cognitivos.

Sabemos, a partir de dados experimentais, quer de dados introspectivos, quer ainda de dados comportamentais, que no cérebro existe um registo das configurações de estímulos e das acções que tiveram lugar, tanto num passado recente como remoto.

Em certas circunstâncias, uma acção é precedida da sua representação no modelo interior e os seus resultados são previstos. Outras acções são submetidas a esse processo no espaço do modelo interior, e só no fim é tomada uma decisão quanto à estratégia de acção a usar.

Quer este processo se passe a nível consciente, quer de maneira que o próprio não tenha disso conhecimento, é razoável supor que a representação de ME armazenada sob a forma de memória, permite que certos operadores representem com processos neuronais, a um nível conveniente de abstracção, quer configurações de estímulos quer acções possíveis e resultados das acções. As representações dessas configurações de estímulos e das decisões de acção que lhe estariam associadas e julgadas como úteis, dariam lugar à especificação de uma estrutura, por forma semelhante à que foi sugerida para as outras formas de aprendizagem.

Note-se ainda que os modelos que incluem (1) uma realização de um algoritmo do tipo do que produzimos, (2) uma matriz de neurónios redundantemente conectados, nos quais se realizam as estruturas especificadas de acordo com o algoritmo, (3) um critério de utilidade de que depende a especificação de uma estrutura duradoura, além de (4) estruturas rígidas do tipo das já expostas nos modelos até aqui apresentados e (5) de conexões entre os elementos neuronais e os receptores e efectores, constituem "Sistemas Auto-organizados",¹⁷³ em que a experiência ocorrida na transacção com o ME vai impor uma estrutura e uma organização não programadas desde o início.

Este resultado tem o interesse de demonstrar que as objecções contra as representações em modelo dos processos psicológicos, que se baseiam na convicção de que um modelo só pode fazer aquilo para que foi rigidamente programado, são destituídas de fundamento.

O algoritmo que apresentámos, permite construir modelos que se auto-organizam de acordo com a sua experiência nas transacções com o ME.

Capítulo XIV

Modificação das Convenções

A construção dos modelos até aqui apresentados, baseou-se na definição (1) dos elementos, (2) das regras de conexão entre esses elementos e (3) das regras de funcionamento dos diferentes tipos de elementos, merecendo menção especial as convenções quanto ao tempo.

Essas definições foram feitas, tendo em conta tanto os dados da anatomia, como os da fisiologia do S.N. O nível de abstracção a que é considerada a correspondência entre os modelos e os dados experimentais, torna necessário examinar até que ponto os modelos se modificariam, se se introduzisse mais detalhe na representação das estruturas anatómicas e dos mecanismos fisiológicos.

A julgar pelos resultados que exporemos na parte final desta secção, existem convenções que permitem construir modelos tão aproximados quanto se desejar, do ponto de vista descritivo, e numa aproximação discreta, daquilo que se aceita correntemente como sendo os processos mais importantes nos mecanismos da membrana neuronal.

Mostrámos antes, como se pode ter nos modelos neuronais, o equivalente das funções de transferência da teoria de controle para os sistemas contínuos. Igualmente, vimos que a partir das conexões interneuronais é possível determinar algèbricamente qual é o comprimento e o número dos ciclos de oscilação das redes com reaferecção (feedback), ou o número de estados estáveis, e qual é o comprimento dos transientes que conduzem a esses estados estáveis.

Veremos adiante como a utilização de equações e desigualdades pseudo-Booleanas permite tratar os casos em que os processos neuronais são descritos da maneira convencional, e como a estabilidade desses sistemas continua a poder ser estudada usando a teoria dos sistemas com operações definidas em Corpos de Galois.

Ao introduzirmos modificações nas convenções, vamos considerar em primeiro lugar a hipótese de o S.N. usar uma modulação por número de impulsos. Nesse caso, aos diferentes estados de excitação que atingem o hilo axonal, corresponde uma mensagem com uma certa duração máxima e constituída por impulsos em número proporcional a essa quantidade de excitação. A primeira modificação necessária será pois a de admitir, além do estado 0 e 1, estados 2, 3, ..., n, quer nos receptores quer nos neurónios ou nos efectores. A segunda modificação consistirá em inverter a convenção do tempo, passando a considerar-se o estado de actividade do corpo celular como instantâneo, e dando lugar no hilo axonal a impulsos também instantâneos e a uma distância mínima uns dos outros. Essa distância mínima será o período refractário absoluto, e terá duração especificada para cada modelo. A informação transmitida será então transportada por uma sucessão de estados de actividades no hilo axonal, e que se propagam ao longo do axónio e das suas ramificações.

A terceira modificação consistirá em admitir que essa progressão não se faz instantaneamente e sim com uma velocidade conhecida, que, para simplificar o tra-

tamento dos exemplos que iremos examinar, será considerada como constante.

A cada quantidade de excitação no receptor ou no corpo celular corresponderá um número n de impulsos nervosos transmitidos ao longo do axónio, tal que sendo Δt a duração de um impulso nervoso e $\Delta t'$ a de um período refractário absoluto e T a duração de uma época.

$$n(\Delta t + \Delta t') \leq T$$

É imediato que esta mesma convenção podia permitir uma interpretação em que a quantidade de excitação fosse considerada como dependente da frequência dos impulsos transmitidos, sendo T a unidade de tempo usada para medir a frequência.

Uma outra generalização permitiria supor que a quantidade de excitação no hilo axonal seria transmitida de tal maneira que essa informação seria representada pela frequência dos impulsos por uma unidade de tempo $T' < T$, que ao fim de cada intervalo de tempo T' , o elemento sucessor do considerado receberia uma quantidade de excitação proporcional à frequência durante um intervalo T' .

Vamos considerar em primeiro lugar uma interpretação em modelo, da "modulação por número de impulsos". A "modulação por frequência de impulsos" será tratada em conjunto como um caso particular da "modulação por posição de impulsos", para o qual apresentaremos uma solução de que é possível obter uma representação em modelos neuronais.

I - Representação em modelos neuronais das mensagens nervosas como correspondendo a uma Modulação por Número de Impulsos

Os receptores, nesta convenção, continuam a ser considerados como instantaneamente activados pelos estados dos objectos do M E. O estado de excitação do receptor representará os estados dos objectos do M E que o actuam.

A sua duração será instantânea. Desse estado dependerá o número n de impulsos que dele recebam os elementos sucessores deste receptor durante uma época T , $T \geq n(\Delta t + \Delta t')$.

T é considerado como constante em cada elemento e o mesmo para todos os elementos do modelo; n é o limite superior da quantidade de excitação que é transmitida com fidelidade.

Sendo T , Δt e $\Delta t'$ constantes e iguais para todos os neurónios, um neurónio realizará a operação que lhe corresponde n vezes em cada época T . A quantidade de excitação transmitida por m estados 1 ($m \leq n$) é considerada como independente da posição que esses m estados ocupem em T .

Por exemplo, o comportamento do neurónio será definido por

$$\begin{array}{r} x \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1 \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 \\ y \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1 \\ z \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 \quad = \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 \end{array}$$

isto é, o estado de z em cada época será representado por uma sucessão de dígitos binários de comprimento m .

Note-se que nesta convenção se continua a requerer que a rede seja síncrona. Daremos dois exemplos mais, de operadores deste tipo.

$$\begin{array}{r} x \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \quad 0 \ 0 \ \dots \ 0 \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \ 1 \\ y \quad 0 \ 0 \ \dots \ 0 \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \ 1 \\ z \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \quad = \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \quad = \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \ 1 \end{array} \quad \frac{x}{y} \textcircled{1} z$$

O operador apresentado neste exemplo realizará a operação

$$x(t) \cup y(t) \equiv z(t+1) \quad n \text{ vezes durante } T. \quad \text{Um neurónio} \quad \frac{x}{y} \textcircled{0} z$$

$$\begin{array}{r} x \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \quad x \quad 0 \ 0 \ \dots \ 0 \\ y \quad 0 \ 0 \ \dots \ 0 \quad y \quad 1 \ 1 \ \dots \ 1 \end{array}$$

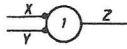
realizará a operação

$$\overline{x(t)} \equiv y(t+1) \quad \text{n vezes durante T.}$$

Nestes operadores pudemos interpretar a repetição dos estados 1 como uma representação unária da quantidade de excitação que recebem dos seus predecessores.

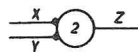
De um ponto de vista Booleano, a mensagem, isto é, a sucessão de 0 e 1 durante T é redundante, mas já o não é se a considerarmos como correspondendo a um sistema lógico de n valores.

Uma interpretação fisiológica imediata por estes valores, é a de transmissão da informação sobre a quantidade de excitação recebida pelo elemento durante o lapso de tempo T.



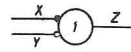
$V_L^{x,y}$	0	1	2	3	4	5
0	0	1	2	3	4	5
1	1	1	2	3	4	5
2	2	2	2	3	4	5
3	3	3	3	3	4	5
4	4	4	4	4	4	5
5	5	5	5	5	5	5

$V_L^{x,y}$	0	1	2	3	4	5
0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1



$A_L^{x,y}$	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	1	1	1
2	0	1	2	2	2	2
3	0	1	2	3	3	3
4	0	1	2	3	4	4
5	0	1	2	3	4	5

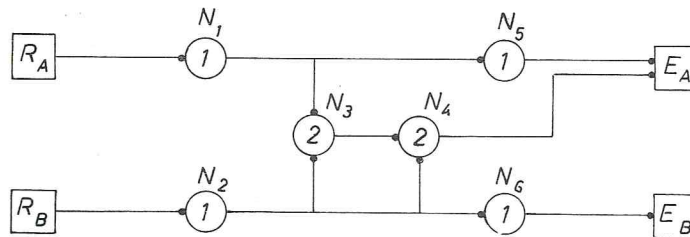
$A_L^{x,y}$	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	1	1	1
2	0	1	1	1	1	1
3	0	1	1	1	1	1
4	0	1	1	1	1	1
5	0	1	1	1	1	1



$N_L^{k,y}$	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0
2	2	1	0	0	0	0
3	3	2	1	0	0	0
4	4	3	2	1	0	0
5	5	4	3	2	1	0

$N_L^{k,y}$	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0
3	1	1	1	0	0	0
4	1	1	1	1	0	0
5	1	1	1	1	1	0

Interpretação de dois dos modelos do ponto de vista desta convenção em que a quantidade de excitação é representada por uma repetição de impulsos.



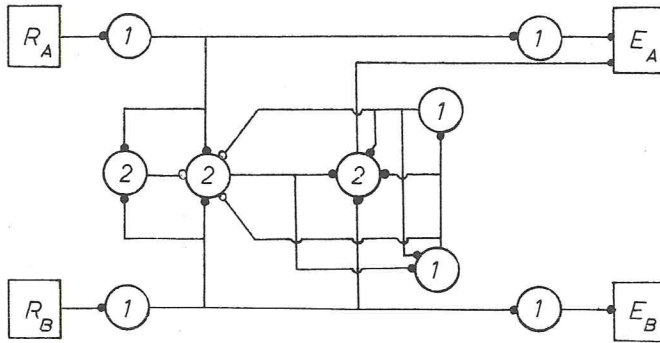
Interpretação de quantidade do 1º modelo de RC

R_A	R_B	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	E_A	E_B
n	h	0	0	0	0	0	0	0	0
0	h	n	h	0	0	0	0	0	0
0	0	0	h	h	0	n	h	0	0
0	0	0	0	0	h	0	h	n	h
0	0	0	0	0	0	0	0	h	h

$R_A \rightarrow$ quantidade n

$R_B \rightarrow$ quantidade h

Sendo $n > h$ e ambos $n \neq$ inteiros e positivos



R_A	R_B	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9	E_A	E_B
n	h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	h	n	h	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	h	h	h	0	0	0	n	h	0	0
0	0	0	0	0	0	h	h	0	0	h	n	h
0	h	0	0	0	0	0	0	h	0	0	h	h
0	0	0	h	0	0	0	h	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	h	0	h	0	0
0	0	0	0	0	0	0	h	0	0	0	h	h
0	0	0	0	0	0	0	0	h	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	h	0	0	0	0	0

$R_A \rightarrow$ quantidade n

$R_B \rightarrow$ quantidade h

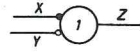
sendo $n > h$ e ambos inteiros e positivos

Se em relação a cada sinal 1 que esteja incluído numa mensagem, nós atribuímos uma probabilidade $1 - p$ de transformação de 1 em 0 devido a erro, então a redundância que nesta convenção resulta da interação da operação booleana n vezes aumenta a probabilidade de recepção correcta de um número h de sinais, $h < n$.

Unindo esta interpretação probabilística às anteriores, o sistema que resulta é idêntico à lógica modal de E. Post⁵⁴⁹, com modificações, aos sistemas de Luckasiewicz^{113,432} ou de Lewis.⁴⁰⁶

Reinterpretemos as matrizes anteriores, considerando-as como descrevendo sucessões de sinais elementares, cada um deles com uma probabilidade p de ser recebido no neurónio sucessor sem erro, e a probabilidade $q = 1 - p$ de ser recebido com transformação de 1 em 0. Estas probabilidades dizem respeito ao estado conjunto do axónio e das suas ramificações, e para simplicidade dos cálculos, não se

trata a possibilidade de sendo 0 o estado do neurónio predecessor esse estado dê lugar à transmissão ao longo do axónio de 1, devido a erro.

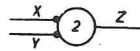


P(Q max poss)

$V_{x,y}^{1,1}$	0	1	2	3	4	5
0	0	1	2	3	4	5
1	1	1	2	3	4	5
2	2	2	2	3	4	5
3	3	3	3	3	4	5
4	4	4	4	4	4	5
5	5	5	5	5	5	5

P(Q ≥ 1)

$V_{x,y}^{1,1}$	0	1	2	3	4	5
0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1

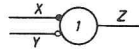


P(Q max poss)

$V_{x,y}^{2,2}$	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	1	1	1
2	0	1	2	2	2	2
3	0	1	2	3	3	3
4	0	1	2	3	4	4
5	0	1	2	3	4	5

P(Q ≥ 1)

$V_{x,y}^{2,2}$	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	1	1	1
2	0	1	1	1	1	1
3	0	1	1	1	1	1
4	0	1	1	1	1	1
5	0	1	1	1	1	1



$P(Q \geq 1)$

$P(Q_{max} \text{ poss})$

$N_{L}^{k \times T_V}$	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	p	$p(1-p)$	$p(1-p)$	$p(1-p)$	$p(1-p)$	$p(1-p)$
2	$(1-p)^2$	$(1-p)[p(1-p)]$	$[p(1-p)]^2$	$[p(1-p)]^2$	$[p(1-p)]^2$	$[p(1-p)]^2$
3	$(1-p)^3$	$(1-p)[p(1-p)]$	$[p(1-p)]^2$	$[p(1-p)]^3$	$[p(1-p)]^3$	$[p(1-p)]^3$
4	$(1-p)^4$	$(1-p)[p(1-p)]$	$[p(1-p)]^2$	$[p(1-p)]^3$	$[p(1-p)]^4$	$[p(1-p)]^4$
5	$(1-p)^5$	$(1-p)[p(1-p)]$	$[p(1-p)]^2$	$[p(1-p)]^3$	$[p(1-p)]^4$	$[p(1-p)]^5$

$N_{L}^{k \times T_V}$	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	p	$p(1-p)$	$p(1-p)$	$p(1-p)$	$p(1-p)$	$p(1-p)$
2	p^2	$p[p(1-p)]$	$[p(1-p)]^2$	$[p(1-p)]^2$	$[p(1-p)]^2$	$[p(1-p)]^2$
3	p^3	$p^2[p(1-p)]$	$p[p(1-p)]^2$	$[p(1-p)]^3$	$[p(1-p)]^3$	$[p(1-p)]^3$
4	p^4	$p^3[p(1-p)]$	$p^2[p(1-p)]^2$	$p[p(1-p)]^3$	$[p(1-p)]^4$	$[p(1-p)]^4$
5	p^5	$p^4[p(1-p)]$	$p^3[p(1-p)]^2$	$p^2[p(1-p)]^3$	$p[p(1-p)]^4$	$[p(1-p)]^5$

Uma outra especificação que os modelos deveriam satisfazer, seria que o sistema não fosse constituído por elementos que tivessem de funcionar sincronamente.

Vamos apresentar duas das soluções possíveis, uma que corresponde a uma transposição dos resultados da teoria dos Shift-Registos para a Teoria das Redes Neurais, e a outra que se baseia nos métodos de Programação Bivalente. Esta última permite além disso um tratamento rigoroso, tanto de modulação por frequência como por posição de impulsos.

TEORIA DAS REDES ASSÍNCRONAS

As redes de neurónios formais do tipo McCulloch-Pitts, ou de neurónios com Interação de Aferências são sistemas em que uma cronometragem comum impõe uma condição de sincronismo no funcionamento de todos os seus elementos.

Como os neurónios, tal como são estudados na experimentação neurofisiológica, formam redes assíncronas, é por isso importante saber se é possível representar qualquer função que se deseja por uma rede assíncrona de Neurónios Formais ou de neurónios com Interação de Aferentes, de tal maneira que na rede não ocorram acidentes dinâmicos ou estáveis. Um acidente dinâmico consiste na ocorrência transitória, em uma ou mais saídas de sistemas, de estados diferentes dos especificados como correspondendo ao estado dos elementos do sistema, em consequência de eventos que ocorrem nas entradas do sistema.

Um acidente estável consiste em o estado interno do sistema ser errado em consequência das modificações ocorridas das entradas.

Diz-se que existe uma situação de erro devida a uma "Corrida Crítica" (Critical Race Condition), quando (1) na matriz de sucessão de estados uma ou mais variáveis que definem o estado de elementos do sistema mudam em consequência de uma variação da entrada do sistema, e (2) o estado estável seguinte do sistema depende da ordem pela qual mudam essas variáveis.

Dado que os neurónios com Interação de Aferências⁴⁶⁴ é os Neurónios For-

mais são equivalentes a conjuntos de Shift-Registos e operadores lógicos, podemos tratar o problema de redes assíncronas desenvolvidas por Huffman, Unger, Armstrong, Friedman e Menon e outros.^{270,306,307,402,418,559,630}

Unger^{636,637} provou que qualquer tabela de sucessão de estados de "modo normal" (normal mode flow table) pode ser realizada por um circuito assíncrono, com introdução de um único atraso suplementar: Se numa transição apenas se permite a variação de uma única variável da entrada, então é possível uma realização, com introdução de um único atraso suplementar, em que o funcionamento do circuito não é sujeito a erros tanto dinâmicos como estáveis.

Note-se que se supõe que a rede é especificada por uma tabela de estados, segundo a qual qualquer transição leva sempre a um estado estável, e em que na coluna da tabela que corresponde a cada entrada (input), os estados das saídas (outputs) são os mesmos que para os estados estáveis que lhes são equivalentes - isto é, a tabela de sucessão de estados é, como dissemos, uma tabela de sucessão de estados de "modo normal".

No entanto, se numa rede deste tipo se permite a variação do estado em mais do que uma entrada durante uma única transição, então, embora a estratégia anterior evite os erros estacionários, podem ocorrer erros transitórios.

Se, além das condições impostas por Unger, se especifica que as entradas não podem variar até que a rede se estabilize, isto é, o circuito assume os seus estados estáveis mais rapidamente do que variam os estados das entradas, então, como foi demonstrado por Armstrong,²⁵ Friedman e Menon, "qualquer tabela de sucessão de estados de "modo normal" pode ser realizada com introdução de um único atraso suplementar, mesmo que o estado de mais do que uma entrada varie durante uma transição, desde que o tempo entre a primeira e a última mudança ocorrida na transição não exceda uma quantidade determinada pelo atraso suplementar e pelos atrasos no funcionamento do circuito".

Não se pode excluir portanto a possibilidade de que embora as redes de neurónios reais sejam assíncronas, as funções especificadas pelas suas conexões e limiares de funcionamento sejam realizadas independentemente desse assincronismo, como se se tratasse de redes síncronas, porque durante o processo de evolução pode ter ocorrido uma programação desse tipo.

Nestas circunstâncias, é possível que o atraso sináptico e o tempo relativamente longo de condução, ao longo do axónio e das suas ramificações, bem como das ramificações dendríticas, pode levar à correcção de acidentes do tipo que discutimos.

Esse atraso poderia ter uma importante função do ponto de vista do processamento de informação, permitindo evitar erros quer estáticos quer dinâmicos.

Esta função ultrapassaria portanto o papel desempenhado pelas relações espaço-temporais (1) nas operações de codificação e descodificação que são conhecidas desde o trabalho de Shannon e (2) na acção da mera temporização que lhes foi dada no trabalho original de McCulloch e Pitts.

Uma crítica que tem sido feita aos modelos neuronais, é a de que se o funcionamento dos neurónios do S.N. fosse igual aos dos neurónios formais, seria necessário um número de neurónios muito maior do que aquele que é obtido por estimativa a partir de contagens feitas em dados histológicos.

As soluções matemáticas que obtivemos quando tentámos obter um tratamento formal adequado para a descrição dos processos de excitação e de inibição que ocorrem no corpo celular e nos dendritos dos neurónios, permitem (1) a descrição da lógica liminar de McCulloch e Pitts, considerada do ponto de vista dos fenómenos sinápticos; (2) a descrição de qualquer função booleana de n variáveis, realizada como um processo no tempo, por um neurónio com interacção de aferências (3) uma utilização simples do algoritmo divisivo para a inibição, proposta por J. Y. Lettvin e (4) a representação numa aproximação discreta, dos processos de excitação e inibição, tal como são correntemente descritos ao nível biofísico.

Esses resultados mostram que existe uma relação íntima entre o algoritmo de J. Y. Lettvin, e o funcionamento dos Neurónios Formais de McCulloch e Pitts, ou dos Neurónios com Interacção de Aferências de McCulloch.

O uso das funções Pseudo-Booleanas permite obter uma grande aproximação na descrição dos dados fisiológicos, desde que se aceite que os neurónios não são capazes de realizarem discriminações (1) entre diferentes estados de excitação para além de um certo poder de resolução, o que está de acordo com as verificações fisiológicas da lei de Weber-Fechner ao nível dos receptores periféricos e dos neurónios do S.N.C. e (2) entre estados sucessivos no tempo, como é sugerido, por exemplo, pelo Fenómeno da Fusão Crítica do Flicker.

É então possível tratar o processamento da excitação e da inibição na membrana dos neurónios, como se eles ocorressem num sistema com amostragem de dados.

Esta interpretação é também adequada a um nível lógico de descrição. Nesta convenção cada neurónio é equivalente por si só, a uma complicada rede de neurónios com Interação de Aferências.

Os operadores básicos deixam de ser os neurónios considerados na sua totalidade, mas sim as sinapses e as porções da membrana ao longo das quais a excitação é conduzida, tanto nos dentritos como no corpo celular, até ao hilo axonal. O número de operadores será então compatível, dado o elevado número de sinapses que um único neurónio pode ter, com o que seria necessário para realizar as tarefas que sabemos que ocorrem no S.N.

No que respeita aos conceitos matemáticos que usamos, as funções Pseudo-Booleanas foram já tratadas de tal modo que se conhece um método completamente geral para resolver equações e desigualdades quer lineares quer não lineares.

FUNÇÕES, EQUAÇÕES E DESIGUALDADES PSEUDO-BOOLEANAS

Uma função Pseudo-Booleana é uma função que assume valores que pertencem ao corpo dos números reais e cujas variáveis só podem ter os valores 0 ou 1.

O termo "Pseudo-Booleano" justifica-se se os elementos do conjunto $\{0, 1\}$ são identificados com os reais 0 e 1 e incluídos no corpo dos reais. Nesse caso, notamos que as operações $x \cup y$ e \bar{x} são definidas em forma Pseudo-Booleana por

$$x \cup y = x + y - xy$$

$$e \quad \bar{x} = 1 - x$$

igualdades que podem ser demonstradas dando a x e y todos os valores possíveis, e verificando além disso que a operação $x \cdot y$ coincide com a multiplicação entre variáveis que podem assumir os valores 0 e 1. Então cada função Booleana transforma-se numa função Pseudo-Booleana equivalente.

Definindo $x^1 = x$ e $x^0 = \bar{x}$, pode demonstrar-se o teorema seguinte:

Qualquer função Pseudo-Booleana pode ser escrita da forma

$$f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)} C_{\alpha_1, \dots, \alpha_n} x_1^{\alpha_1} \dots x_n^{\alpha_n}$$

onde a soma é feita sobre os 2^n valores possíveis do vector $(\alpha_1 \dots \alpha_n)$, e em que os coeficientes $C_{\alpha_1, \dots, \alpha_n}$ são unicamente determinados pelas relações

$$C_{\alpha_1 \dots \alpha_n} = f(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$$

Fortet, Camion, Ivanescu e outros, investigaram os problemas postos por equações Pseudo-Booleanas, isto é, equações da forma $f(x_1 \dots x_n) = 0$, em que $f(x_1 \dots x_n)$ são funções Pseudo-Booleanas, e sugeriram métodos que permitem obter a sua solução geral em forma paramétrica.

Ivanescu e Rudeanu³¹³ descobriram um método em que se obtêm todas as soluções agrupadas em famílias.

Ivanescu resolve as equações e desigualdades lineares por meio de uma procura acelerada das soluções numa árvore associada a cada equação ou desigualdade. As regras dessa procura são dadas para o caso geral.

As equações e desigualdades não lineares são resolvidas do mesmo modo, depois de se usar um método de linearização em que se faz a introdução de novas variáveis.

Ivanescu e Rudeanu associam a cada equação (ou desigualdade ou sistema de equações ou de desigualdades) Pseudo-Booleana, uma "Equação Booleana característica", que tem as mesmas soluções que o sistema Pseudo-Booleano. A "Equação Booleana característica" permite a inclusão de condições lógicas no sistema.

O problema de resolver um sistema de equações e desigualdades Pseudo-Booleanas, pode reduzir-se ao de encontrar a solução para a sua Equação Booleana característica. O método permite obter todas as soluções da equação característica, agrupadas em famílias. Um outro procedimento transforma as famílias de soluções, de modo a que se obtenha um sistema de famílias de soluções, que contém todas as soluções possíveis, e que são disjuntas duas a duas.

NEURÓNIOS FORMAIS

Como já vimos, esses neurónios podem estar em um de dois estados: o estado 1 que é interpretado como de actividade e o estado 0 que é interpretado como um estado de repouso.

O estado de actividade de um neurónio 1 é representado por $x_1 = 1$ e o seu estado de repouso por $x_1 = 0$ ou $\bar{x}_1 = 1$.

Denotamos por $g_{ij} x_i$ a quantidade de excitação que um neurónio j pode receber de um neurónio i . $E_j = g_{ij}$ no caso de $x_i = 1$ e $E_j = 0$ no caso de $x_i = 0$. g_{ij} pode ser qualquer número que pertença ao corpo dos reais. No caso de $g_{ij} < 0$ diz-se que a sinapse é inibitória. Quando a $g_{ij} > 0$ diz-se que a sinapse é excitatória. $g_{ij} = 0$ significa que o neurónio j não recebe qualquer sinapse de neurónio i .

Define-se além disso um limiar T_j para cada neurónio j , como uma quantidade tal que o estado j é 1 se e só se

$$\sum_{i=1}^n g_{i,j} x_i \geq T_j$$

É imediata a verificação de que este conjunto de definições especifica neurónios formais do tipo de McCulloch e Pitts, tal como eles foram descritos no "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity".

Sejam $g_{1j}, g_{2j}, \dots, g_{nj}$ os coeficientes constantes que exprimem a quantidade de excitação que os neurónios 1, 2, ..., n ou as entradas (inputs) da rede podem transmitir a um neurónio j em cada época, descrevendo as variáveis x_i o estado de actividade ou de repouso desses neurónios numa dada época t .

$$\text{Temos então que } E_j(t+1) = g_{1j} x_1 + g_{2j} x_2 + \dots + g_{nj} x_n$$

Os termos à direita nesta equação descrevem a quantidade de excitação que um elemento j recebe de cada um dos elementos do conjunto 1, 2, ..., n que include o próprio j , ou dos estados dos objectos do ME.

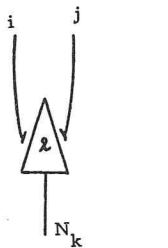
Como o mesmo é verdade para qualquer neurónio da rede, vemos que o comportamento de uma rede com elementos 1, 2, ..., n, é descrito do ponto de vista da quantidade de excitação, pela seguinte equação:

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{1,1} & g_{1,2} & \dots & g_{1,n} \\ g_{2,1} & g_{2,2} & \dots & g_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n,1} & g_{n,2} & \dots & g_{n,n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

Simple verificação, mostra que estas expressões que descrevem o comportamento de Neurónios Formais do tipo McCulloch-Pitts e dos Receptores e Efectores da rede, são equações ou sistemas de equações Pseudo-Boleanas.

Consideremos os seguintes exemplos de representação Pseudo-Boleana de Neurónios Formais do Tipo McCulloch-Pitts

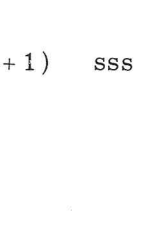
$g_{ik} = 1$
 $g_{jk} = 1$



$N_k(t+1) \text{ sss } g_{ik} x_i + g_{jk} x_j \geq 2$

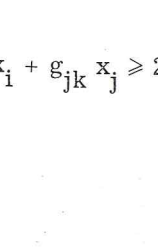
ou em notação proposicional

$g_{ik} = 1$
 $g_{jk} = 1$



$N_j(t+1) \text{ sss } g_{ik} x_i + g_{jk} x_j \geq 1$
 $N_k(t+1) \equiv N_i(t) \cap N_j(t)$

$g_{ik} = -1$



$N_k(t+1) \text{ sss } g_{ik} x_i \geq 0$

dato que x_1 só pode por definição ser 1 ou 0, esta desigualdade só se verifica para $x_1 = 0$. $x_1 = 1$ faz $g_{ik} x_1 < 0$, e portanto $\overline{N_k}(t+1)$

Podemos portanto escrever

$$N_k(t+1) \equiv \overline{N_i}(t)$$

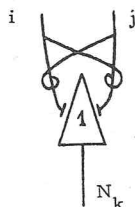
Note-se que usando a lógica liminar não é possível representar por meio da operação realizada por um único neurónio as funções

$$x \overline{y} \cup \overline{x} y \equiv z \quad (\text{ou exclusivo})$$

$$x y \cup \overline{x} \overline{y} \equiv z \quad (\text{só e só se})$$

Em 1957 McCulloch⁴⁵⁸ introduziu um novo tipo de neurónios "com interacção de aferências", por meio das seguintes convenções:

- (1) Os neurónios predecessores N_i de um neurónio N_j , podem ter não só uma acção inibitória absoluta ou relativa através de uma especificação adequada do g_{ij} , mas também uma acção inibitória absoluta sobre outras aferências g_{kj} , não tendo qualquer acção directa neste segundo caso sobre o estudo de N_j .
- (2) A esta acção inibitória corresponde a notação gráfica



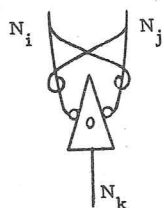
$$N_k(t+1) \quad \text{sss} \quad g_{ik} x_i \overline{x}_j + g_{jk} \overline{x}_i x_j \geq 1$$

que é a expressão pseudo-booleana que define a condição necessária e suficiente para que o neurónio N_k esteja activo, que é a de que apenas uma das fibras aferentes tenha estado activa, e portanto que não tenha havido interacção de aferentes.

Em notação proposicional temos

$$N_k(t+1) \equiv N_i(t) \cap \overline{N_j}(t) \cup \overline{N_i}(t) \cap N_j(t)$$

- (5) Para a expressão $x y \cup \overline{x} \overline{y} \equiv z$, teremos



isto é

$$N_k(t+1) \quad \text{sss} \quad g_{ik} x_i \overline{x}_j + g_{jk} \overline{x}_i x_j \geq 0$$

Esta desigualdade dada a especificação de g_{ik} e g_{jk} só se verifica no caso em que ambos x_i e x_j são 1 ou ambos 0, o que faz com que se anulem ambos os termos e que o limiar seja atingido.

Em notação proposicional

$$N_k(t+1) \equiv N_i(t) \cap N_j(t) \cup \overline{N_i(t)} \cap \overline{N_j(t)}$$

Dito de uma maneira geral, a interacção de aferentes pode ser sempre expressa em forma Pseudo-Booleana. Este resultado é imediato dada a especificação de que a inibição ligada à interacção de aferentes é absoluta.

Quando uma aferência inibitória x_k actua sobre aferências excitatórias $x_1, x_2 \dots x_n$ e a soma destas excitações é dada por

$$\sum_{i=1}^n g_i x_i$$

A interacção de aferentes é dada por dois termos que exprimem as duas hipóteses possíveis quanto a x_k

$$\alpha_0 x_k \sum_{i=1}^n g_i x_i + \alpha_1 \overline{x_k} \sum_{i=1}^n g_i x_i$$

como a inibição é absoluta temos que por definição $\alpha_0 = 0$, o que faz desaparecer o primeiro termo. O segundo termo representa por si só a interacção de aferentes.

Este resultado pode ser imediatamente generalizado para qualquer número de aferentes inibitórios $x_k, x_1 \dots x_m$ que actuam sobre $x_1, x_2 \dots x_g$ mas não entre si pois a quantidade de excitação recebida pelo neurónio j é nula se pelo menos uma das sinapses inibitórias tiver estado activa. Por outro lado para que j receba qualquer excitação é necessário que todas as aferências inibitórias tenham estado inactivas.

Temos então a seguinte expressão que descreve a situação

$$\alpha_1 \overline{x_k} \overline{x_1} \dots \overline{x_m} \sum_{i=1}^n g_{i,j} x_i$$

No caso de haver interacção entre as próprias aferentes inibitórias basta que os casos possíveis sejam separados em classes mutuamente exclusivas, para que sejam imediatamente representadas por uma expressão Pseudo-Booleana não linear.

Se no caso anterior x_m tivesse acção inibitória sobre x_k, x_1, \dots, x_{m-1} , teríamos então

$$\alpha_{1,1} \overline{x_k} \overline{x_1} \dots \overline{x_{m-1}} \overline{x_m} \sum_{i=1}^n g_{i,k} x_i + \alpha_{1,2} x_m \sum_{i=1}^n g_{ik} x_i$$

resultado que é imediatamente generalizável para qualquer tipo de interacção entre fibras inibitórias.

Como a interacção de aferentes é suficiente para a representação de qualquer função Booleana, segue-se que podemos sempre representar uma função Booleana por uma equação ou desigualdade Pseudo-Booleana, que descreve a quantidade de excitação que o neurónio que lhe corresponde processa, e o critério de decisão para o estado de actividade ou de repouso desse neurónio.

Por outro lado vimos como é possível em geral linearizar qualquer função não linear, descrita sobre o Corpo de Galois. Podemos pois em princípio determinar sempre os estados estáveis e o comprimento dos ciclos de oscilações das redes descritas por equações e desigualdades Pseudo-Booleanas não lineares, usando para isso os teoremas de Elspas, Friedland e outros.

O ALGORITMO DE J. Y. LETTVIN

J. Y. Lettvin⁴⁰³ sugeriu um algoritmo para a descrição a nível biofísico do efeito divisivo da inibição sobre o estado de excitação de uma zona da membrana neuronal. Mostraremos que esse efeito divisivo da inibição, pode ser representado por equações Pseudo-Booleanas não lineares, que têm uma solução geral.

Designemos de I_A a inibição exercida por uma fibra aferente num certo instante. Seja E_A a quantidade de excitação que existia nesse instante correspondendo quer ao declínio de um estado de excitação que ocorreu nessa zona antes do instante considerado, quer a propagação ao longo da membrana do estado de excitação que ocorreu noutras zonas. E_B designa a quantidade de excitação que essa zona recebeu imediatamente antes através das junções sinápticas que nela existem.

No algoritmo de Lettvin

$$Q_{EI} = E_A + E_B \quad \text{se não houver inibição}$$

ou

$$Q_{EI} = \frac{E_A + E_B}{I_A} \quad \text{se ocorreu inibição}$$

É imediato que a equação Pseudo-Booleana $Q_{E1} = g_n x_n (E_A + E_B)$ em que x_n é a variável que assume o valor $x_n = 1$ se ocorreu inibição e $0 \leq g_n \leq 1$ descreve o efeito divisivo.

Um outro termo descreve a não ocorrência de inibição, $\bar{x}_n = 1$

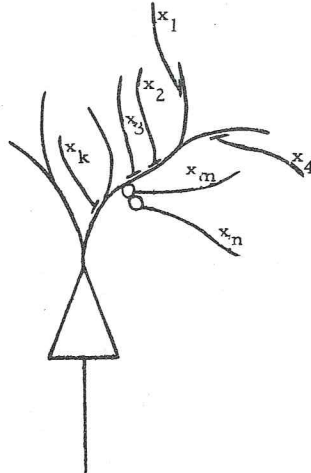
$$Q_{E2} = g'_n x_n (E_A + E_B) \quad \text{em que} \quad g'_n = 1$$

Vemos pois que é possível incluir na equação a condição lógica de os dois casos serem mutuamente exclusivos, o que não era possível no algoritmo de Lettvin:

$$Q_E = Q_{E1} + Q_{E2} = g_n x_n (E_A + E_B) + g'_n \bar{x}_n (E_A + E_B)$$

Uma vez que se pode sempre obter uma expressão deste tipo que exaure todas as possibilidades combinatórias, e dado que se pode fixar como for conveniente o coeficiente de cada um dos termos, segue-se que a cada situação corresponde sempre uma equação Pseudo-Booleana que descreve o estado da membrana nos momentos escolhidos.

No exemplo seguinte



Suponhamos que x_n exerce uma acção inibitória x_m que bloqueia a acção de x_m sem exercer qualquer acção directamente sobre o neurónio.

Conforme o que se passa com x_m e x_n podem considerar-se quatro classes de casos:

- (1) inibição da inibição
- (2) inibição
- (3) inibição exercida por x_n sobre x_m sem que x_m esteja activo
- (4) não ocorrência de actividade quer em x_m quer em x_n

$$(1) \left\{ g_{a1} x_1 \dots x_k x_m x_n, \dots, g_{a1} \bar{x}_1 \dots \bar{x}_k x_m x_n \right\}$$

$$(2) \left\{ g_{b1} x_1 \dots x_k x_m \bar{x}_n, \dots, g_{b1} \bar{x}_1 \dots \bar{x}_k x_m \bar{x}_n \right\}$$

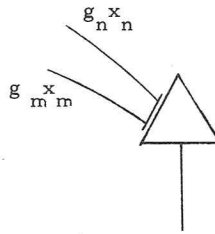
$$(3) \left\{ g_{c1} x_1 \dots x_k \bar{x}_m x_n, \dots, g_{c1} \bar{x}_1 \dots \bar{x}_k \bar{x}_m x_n \right\}$$

$$(4) \left\{ g_{d1} x_1 \dots x_k \bar{x}_m \bar{x}_n, \dots, g_{d1} \bar{x}_1 \dots \bar{x}_k \bar{x}_m \bar{x}_n \right\}$$

Deve notar-se que um efeito multiplicativo exercido por uma sinapse sobre uma outra é também imediatamente representável sob a forma Pseudo-Booleana:

$$Q_E = g_m x_m \bar{x}_n + g_n \bar{x}_m x_n + g_m g_n x_m x_n$$

Tanto esta operação como a precedente, que pode ser considerada também como multiplicativa no sentido de que os g_i que permitem a representação do efeito divisivo serão $0 < g_i < 1$, têm importância porque é então possível representar funções de autocorrelação e correlação cruzada para o caso discreto, ou sob a forma de uma aproximação discreta para o caso contínuo.



O NEURÓNIO CONSIDERADO COMO UM CONJUNTO DE OPERADORES

Uma outra modificação permite-nos uma interpretação das mensagens nervosas como correspondendo a uma modulação por posição de impulsos ou por frequência, conforme o ponto de vista que se adopte, considerando (1) o intervalo entre duas descargas como a variável que transporta a informação ou (2) a frequência das descargas num certo lapso de tempo, isto é, o intervalo médio entre as descargas, como a variável que transporta a informação.

Para isso vamos atribuir a cada evento um "tempo local" que entra nas expressões como uma variável capaz dos valores 1 ou 0 em cada época.

Isso permite descrever o decréscimo exponencial de um estado de excitação num dado lugar, com o tempo ou com a condução ao longo da membrana. Além dos efeitos aditivo ou subtractivo das sinapses, serão também considerados efeitos divisivos e multiplicativos.

O tempo local ligado à excitação que ocorreu num certo instante determina o lapso de tempo em que é possível a ocorrência da adição latente: para isso especificamos $g_1 t_1, g_2 t_2, \dots, g_n t_n$ tais que (1) cada t_i pode ser ou 1 ou 0 e (2) $g_p = 0$ para $p \geq m$ e g_1, g_2, \dots, g_n estão bem ordenados numa sucessão monotonamente decrescente

$$\frac{1}{k}, \frac{1}{k^2}, \dots, \frac{1}{k^m}$$

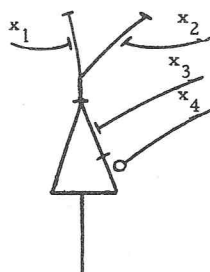
Estas especificações permitem descrever o decréscimo da excitação, tal como ela é observada experimentalmente. Estas especificações, em conjunto com a convenção quanto ao decréscimo ligado ao transporte ao longo da membrana, e quanto ao tempo, permitem exprimir os valores que são observados experimentalmente a intervalos discretos, sob a forma de equações Pseudo-Booleanas não lineares. Por outro lado, a equação característica desta equação Pseudo-Booleana permite-nos uma interpretação lógica dos processamentos biofísicos realizados na membrana neuronal.

Estabelece-se assim uma ponte entre a neurofisiologia e a psicologia, e obtém-se um procedimento capaz de orientar os estudos dirigidos para o esclarecimento das relações entre comportamentos e fenómenos subjectivos por um lado e processos neuronais por outro.

As convenções que permitem a formalização do que acabamos de dizer são as seguintes:

- (1) O contorno de cada neurónio encontra-se dividido em zonas designadas de 1, 2, ... n, em ordem decrescente de distância duma zona i ao hilo axonal;
- (2) A quantidade de excitação que ocorre numa zona i de um neurónio, numa época t, desde que esta zona não inclua o hilo axonal é transmitida ao longo de uma membrana para a zona i - 1 na época t + 1 e a quantidade de excitação que se propaga à zona i - 1 é $\frac{1}{K_t} \cdot E_1$;
- (3) A quantidade de excitação presente numa época t que permanece numa zona i de um neurónio na época seguinte t + 1 é $1/k \cdot E_{i,t}$;
- (4) A resolução na discriminação entre diferentes instantes não pode ir além de intervalos t que definem épocas;
- (5) Qualquer transformação operada no estado de excitação devido a mecanismos locais ou à condução, é considerado como se tivesse ocorrido instantaneamente no fim de cada época;
- (6) Os valores de excitação ou de inibição que atinge uma zona a partir de aferentes externos são considerados como independentes do instante em que ocorrem dentro dessa época;
- (7) Cada zona i de um neurónio tem uma velocidade local de condução para a zona i - 1 que é função do estado de excitação da zona i;
- (8) A cada "evento local" corresponde uma variável que exprime o "tempo próprio ou local" desse acontecimento e dos que ocorrem na dependência exclusiva dele;
- (9) A quantidade de excitação ou de inibição transmitida através das terminações sinápticas pode ter uma acção respectivamente aditiva ou multiplicativa no caso das sinapses excitatórias subtractiva ou divisiva no caso das sinapses inibitórias.

Exemplo :



109

Especifiquemos o efeito de qualquer fibra aferente x_i como $g_i x_i$ no instante inicial, $g_i x_i \frac{1}{k}$ se ocorrem no tempo local $t_i, \bar{1}$ e que a redução para os acontecimentos descritos pelo tempo local $t_i, \bar{2}$ e $t_i, \bar{3}$ é uma redução $\frac{1}{k^2}$ e $\frac{1}{k^3}$ do acontecimento local t_0 .

Fazemos neste exemplo, para simplificar os cálculos, $\frac{1}{k^n} = 0$ para $n > 4$.

$$E_1 = g_1 x_1 + \frac{1}{k_1} g_1 t_{1,1} + \frac{1}{k_1^2} g_1 t_{1,2} + \frac{1}{k_1^3} g_1 t_{1,3}$$

$$E_2 = g_2 x_2 + \frac{1}{k_2} g_2 t_{2,1} + \frac{1}{k_2^2} g_2 t_{2,2} + \frac{1}{k_2^3} g_2 t_{2,3}$$

$$E_3 = g_3 x_3 + \frac{1}{k_3} g_3 t_{3,1} + \frac{1}{k_3^2} g_3 t_{3,2} + \frac{1}{k_3^3} g_3 t_{3,3}$$

Ainda para simplificar os cálculos, admitimos que (1) o efeito da inibição desaparece completamente ao fim de uma época, (2) no caso de ter ocorrido inibição, a excitação residual na época seguinte será considerada como nula e (3) que o coeficiente de redução com a condução $1/k$ será o mesmo em todas as zonas dos neurónios, constante no tempo e $1/k_t \cdot 1/k$ por época e por zona i .

Temos então $I = g_4 x_4$.

A excitação que pode ocorrer na zona que inclui o hilo axonal é definida por

$$E_R = (\bar{x}_4 + g_4 x_4)$$

$$\left[\frac{1}{k_t^2} \cdot \frac{1}{k^2} \cdot td_2 (Ed_{1,2} + Ed_{2,2}) + \frac{1}{k_t} \cdot \frac{1}{k} Ed_{3,1} td_1 + \frac{1}{k_t} \cdot \frac{1}{k_2} \bar{x}_{4,1} Ed_{3,2} td_2 \right]$$

Em que $Ed_{i,j}$ significa excitação na zona i , j épocas antes e td_k o intervalo do tempo k .

As variáveis do "tempo local" relacionam o estado da membrana num dado instante com o estado das entradas (inputs).

Substituindo estas equações pelas operações Booleanas realizadas por uma rede neuronal correspondente à equação característica da equação Pseudo-Booleana é sempre possível obter uma rede neuronal equivalente ao neurónio definido de acordo com a presente convenção.

No que respeita o hilo axonal, podemos tratar o problema de uma modulação por posição admitindo que nessa zona existe um processo de decisão em que: (1) cada decisão é separada por um intervalo mínimo das que se lhe seguem ou a precedem imediatamente, (2) se o critério para uma decisão 1 é satisfeito então tem lugar a propagação de um potencial de acção ao longo do axónio, (3) nesse caso o tempo necessário para essa decisão é inversamente proporcional à quantidade de excitação que atinge o hilo axonal, (4) entre duas decisões possíveis a partir da última decisão ocorrida, tem sempre lugar aquela a que corresponder o lapso de tempo que for menor.

Recordando a nossa convenção quanto aos processos que ocorrem no corpo neuronal e nos dendritos, é fácil mostrar que (1) uma especificação adequada dos coeficientes ligados à acção independente ou à interacção sináptica (2) a participação dos factores de decréscimo com o tempo e com a condução, e (3) a dependência que a velocidade de propagação tem da quantidade de excitação que se propaga, tornam possível que as mensagens correspondam tanto a uma modulação por posição como por frequência de impulsos. A resposta a este problema só pode ser obtida experimentalmente. A utilidade das convenções que propomos, é a de permitir a construção dos modelos de uma maneira que torna possível o seu controle experimental.

Em relação ao problema de equivalência espaço-tempo, note-se que em geral operadores de um e do outro domínio, podem ser considerados como equivalentes se certas sucessões de impulsos no tempo, numa das entradas desses operadores dão lugar (adição temporal) a decisões iguais, do ponto de vista axonal, às que dependem

da ocorrência num mesmo instante de estados de actividade em aferências distintas umas das outras (adição espacial). A temporização de uma mensagem pode depender do ponto de vista da célula que a recebe, não só de factores fisiológicos, como ainda da configuração das ramificações axonais e dendríticas que transportam a mensagem e que exercem sobre ela uma acção de filtragem.

Assim um mesmo operador pode ser n no domínio do espaço nos vários sinapses e n no domínio do tempo numa só sinapse, por exemplo. Nesse caso uma expansão do tempo em que a adição latente fosse substituída pela quantidade total de excitação recebida na quantidade de tempo que resultou da expansão, então o neurónio seria um operador u no domínio do espaço.

Como também estas operações podem ser descritas por expressões Pseudo-Booleanas, justifica-se o emprego das designações dos operadores da sua equação característica Booleana numa e noutra interpretação do tempo.

Não é no entanto claro, quer do ponto de vista fisiológico quer psicológico, qual é a informação que é preservada ao longo da cadeia de processamentos que temos vindo a discutir. Além disso, quando num conjunto de neurónios um certo número deles actuam sobre um outro (1), que informação é transmitida; (2) como ocorre a interacção dessas aferências no domínio temporo-espacial; e (3) como se recupera nesse processo a informação sobre eventos isolados.

É possível que o domínio do tempo em que ocorre uma mensagem no axónio, seja suplementado por um "multiplex espacio-temporal" na transmissão dos sinais.

Construímos assim um novo método algorítmico para resolver os problemas levantados pelas redes neuronais, agora ao nível de representação dos estados de excitação da membrana, em instantes especificados.

Ivanescu e Rudeanu mostraram que o seu método para a solução de desigualdades e para encontrar os seus mínimos, é uma combinação de métodos Booleanos com a Programação Dinâmica.

A construção de uma rede que representa o seu tratamento algorítmico do problema da minimização, pode servir como modelo para os mecanismos fisiológicos que tendem a otimizar a acção de comando e de controle dos centros nervosos. Este facto permite o tratamento dos problemas de aprendizagem do ponto de vista da teoria da optimização e da Programação Dinâmica.

Nesse sentido, a aprendizagem pode ser formalizada em forma Pseudo-Booleana como uma operação sobre os coeficientes, que, ao contrário dos exemplos que considerámos, serão variáveis.

Este ponto de vista torna claro que a auto-programação da rede que ocorre em resultado de uma experiência adquirida na transacção com o meio, apenas traz como elemento novo a intervenção de eventos que levam à realização de possibilidades que, conhecido o sistema, eram completamente previsíveis desde o início.

Fazendo a substituição dos coeficientes variáveis pelas equações Pseudo-Booleanas que os caracterizam, obtém-se de novo uma equação ou sistema de equações ou desigualdades Pseudo-Booleanas, em geral não lineares, mas completamente idênticas e sem nada que as distinga das equações ou desigualdades Pseudo-Booleanas com coeficientes constantes que caracterizam os sistemas programados de maneira rígida desde o início.

Note-se ainda que usando este formalismo, se podem construir redes capazes de realizarem a correlação cruzada ou a auto-correlação de funções discretas, ou contínuas numa aproximação discreta, quer no caso periódico quer no aperiódico com limitação no tempo.¹⁷⁷

REDES NEURONAIS QUE REALIZAM A AUTO-CORRELAÇÃO
E A CORRELAÇÃO CRUZADA

Na rede seguinte especificam-se os neurónios iniciais de tal modo que o seu hilo axonal faz a reprodução da quantidade de excitação que recebe através das suas aferências. A transmissão, com atraso, ao longo do axónio, é interpretável como uma série de eventos x_1, x_2, \dots, x_n no neurónio que recebe a mensagem (ou de um conjunto de variáveis x_i e de tempos locais t_i, \bar{k} no caso de nesse instante não ter chegado excitação mas haver excitação residual).

Um dispositivo do tipo proposto permitiria a amostragem, em intervalos sucessivos, D_1, D_2, \dots, D_n , em cada um dos neurónios que realiza uma função $g_i x_i \cdot g_{i+\tau} x_{i+\tau}$. As aferências que cada um desses neurónios recebe tem o mesmo atraso em cada época. Os resultados dessas operações convergem após um atraso adequado num neurónio que realiza a função

$$\sum_i g_i x_i \cdot g_{i+\tau} x_{i+\tau}$$

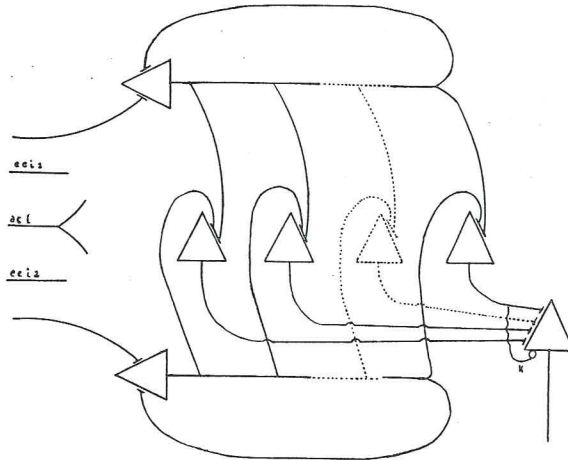
e o resultado final será dividido por um número $n+1$, n igual ao número de amostras colhidas.

Para um n suficientemente grande, pode obter-se uma aproximação de

$$\phi_{1,1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n+1} \sum_i g_i x_i \cdot g_{i+\tau} x_{i+\tau}$$

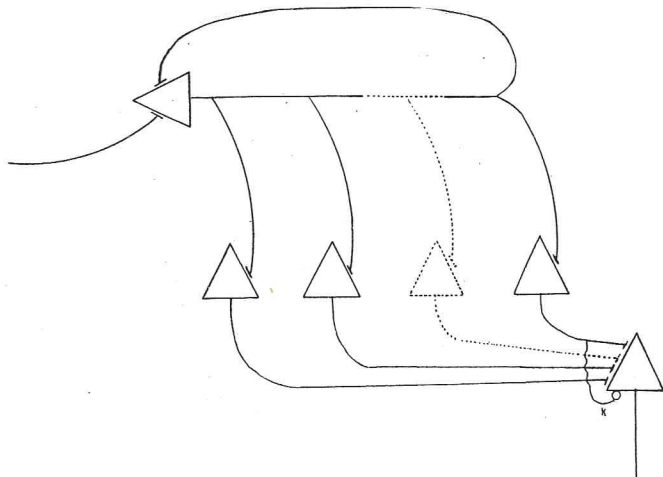
Pode aplicar-se o mesmo tratamento à função de correlação cruzada.

$$\phi_{1,2} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n+1} \sum_i g_i x_i \cdot g_{i+\tau} y_{i+\tau}$$



Uma rede ainda mais simples permite-nos o reconhecimento de um dado incluído numa mensagem mais complexa usando impulsos unitários repetidos com a frequência cuja presença interessa detectar.

$$\varphi_{1,2} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n+1} \sum_i u_{F_1}(t) \cdot f(t+\tau)$$



F_1 é representado pela periodicidade das ramificações do axónio do neurónio inicial que fazem a amostragem da função que foi recebida através das aferências no neurónio inicial.

Usando a última convenção pode obter-se um resultado equivalente se se supuser que (1) a condução na membrana se faz ao longo de certos trajectos, entre os quais a interacção é nula; (2) que sendo conhecido o factor de decréscimo no tempo, na condução ao longo da membrana esse decréscimo pode ser compensado por um factor de multiplicação ligado à interacção sináptica multiplicativa. Nesse caso um único neurónio realiza a função que corresponde a uma rede do tipo que acabamos de apresentar.

Capítulo XVI

Modelos da Percepção Visual

Ao construirmos modelos para os processos de percepção visual, o objectivo que temos em vista não é o de explicar a natureza peculiar da experiência consciente de que um sujeito é capaz de prestar testemunho, quando tem uma percepção. Nomeadamente, não seria por exemplo, a natureza do percepto correspondente a um quadrado aquilo que procuraríamos representar, mas o mecanismo pelo qual essa configuração é reconhecida como a mesma, quando sujeita a uma rotação, translacção, expansão ou contracção, ou qualquer combinação destas transformações⁵⁴⁸.

Consideraremos em primeiro lugar, uma superfície composta por receptores dispostos em mosaico sobre um plano. Esses receptores podem ser interpretados como cones e bastonetes, dispostos os cones predominantemente numa zona que corresponde à fóvea e os bastonetes predominantemente na área restante.

A percepção de formas bi-dimensionais faz sentido se considerarmos que ME, MI e S₀ pertencem a um espaço tri-dimensional.

É no sub-espaço tri-dimensional do ME que existem os objectos ou conjuntos de objectos cuja luz emitida ou reflectida vai actuar como estímulo adequado para esses receptores.

Vamos admitir que ocorre uma variação de potencial na membrana dos receptores quando eles são actuados por um estímulo luminoso. Abstrairemos, a este nível de descrição, do processo fotoquímico subjacente a esta variação de potencial. Tomemos esta variação de potencial como uma medida da quantidade de excitação produzida no receptor, e ao mesmo tempo como um sinal eléctrico que vai ser processado pelos neurónios.

A quantidade de excitação em cada receptor é considerada (1) independentemente do que se passa nos outros receptores e (2) proporcional à intensidade do estímulo.

Consideremos em seguida aos receptores uma camada de células que são actuadas pelos receptores, e que podemos interpretar como células bipolares da retina. Estas células agem entre si e estão conectadas com um terceiro grupo de células, correspondentes às células ganglionares da retina, com um axónio ao longo do qual se propagam os impulsos nervosos até uma outra estrutura, que podemos interpretar como Núcleo Geniculado Externo.

Consideraremos a quantidade de excitação $Q(t)$ que uma dada célula ganglionar recebe num dado instante t como

$$Q(t) = u \cdot \frac{\sum_{i=1}^n g_i x_i}{\sum_{j=1}^m g_j x_j} + \prod_{j=1}^m \bar{x}_j \sum_{i=1}^n g_i x_i$$

em que x_i e x_j denotam o estado 0 ou 1 dos receptores i e j , g_i e g_j a quantidade de excitação ligada a essa actividade, e u uma variável que assume o valor 1 se $\sum_{j=1}^m x_j \neq 0$ e 0 no caso contrário.

A expressão anterior exprime que os receptores x_i exercem uma inibição divisiva sobre a quantidade de excitação recebida pela célula ganglionar a que a expressão diga respeito.

Os factores $g_i x_i$ são interpretados como descrevendo os estados dos elementos de um conjunto de receptores, dispostos no interior de uma área aproximadamente circular.



Os factores $g_j x_j$ são interpretados como descrevendo os estados dos elementos de um conjunto de receptores dispostos à volta da área central.



Um neurónio com um campo receptivo do tipo representado na figura anterior, corresponde à definição dos neurónios de centros on.

Se o neurónio tiver um campo receptivo do tipo correspondente à definição dos neurónios de centro off, pode ser representado pela figura seguinte.



A intensidade da resposta de um certo neurónio N , é proporcional à diferença entre a quantidade de excitação recebida num dado instante t , e o limiar do neurónio nesse instante

$$I_R = C [Q(t) - L]$$

L , sofre variação devida a fenómenos de adaptação.

Se um neurónio for submetido a um estímulo luminoso cujas variações durante o tempo considerado não excedem um certo intervalo $Q_2 - Q_1$ ao fim de um certo tempo a resposta deixa de ocorrer devido a um aumento do limiar ΔL , o que é expresso por

$$L = \prod_{t=1}^n \left[d_2 < Q(t+1) - Q(t) < d_1 \right] \cdot \left[L_{\text{Base}} + L_{\text{Dif. máx.}} C_a e^{\lambda_1 t_i} \right]$$

em que o primeiro parentesis é interpretado como uma variável Booleana que assume o valor 1 se $Q(t+1) - Q(t)$, está contida no intervalo entre d_1 e d_2 e 0 no caso contrário.

Se a quantidade de excitação recebida aumenta, devido a um aumento de intensidade do estímulo, o limiar aumenta também

$$L = \prod_{t=1}^n \left[Q(t+1) - Q(t) \geq d_1 \right] \cdot \left[L_{\text{Base}} + L_{\text{Dif. máx.}} (1 - C_b e^{-\lambda_2 t_i}) \right]$$

isto é, há um aumento logarítmico do limiar.

Se pelo contrário há diminuição da intensidade do estímulo, então, podemos admitir para os neurónios com respostas off que essas respostas dependem de um fenómeno de liberação com um abaixamento de limiar devido à inibição activa exercida pela periferia ter cessado

$$L = \prod_{t=1}^n \left[Q(t+1) - Q(t) \leq d_3 \right] \cdot \left[L_{\text{Base}} - L_{\text{Dif. máx.}} \cdot (1 - C_c^{-\lambda_3 t_i}) \right]$$

De acordo com os resultados de Hartline, de Kuffler e de Hubel e Wiesel, vamos admitir que, em grande número de neurónios, se o estímulo luminoso actuar sobre toda a área receptiva então $Q(t) = 0$.

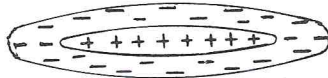
Se pelo contrário só uma parte da área receptiva, for estimulada e a restante não receber luz, então, se a zona antagonista de um neurónio de centro on não exerce a sua acção inibidora, por não ser estimulada, o neurónio responde.

Se a periferia de um neurónio de centro off for estimulada obtém-se uma resposta on. Se o centro e parte da periferia forem estimulados, obtém-se uma resposta off ou on-off.

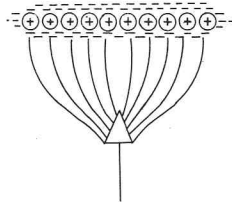
As células ganglionares da retina e do Núcleo Geniculado Externô têm respostas on, off, e mistas on-off, a estímulos visuais punctiformes.

No cortex visual surgem neurónios cujas respostas são desencadeadas por um estímulo constituído por um segmento de recta orientado numa certa direcção.

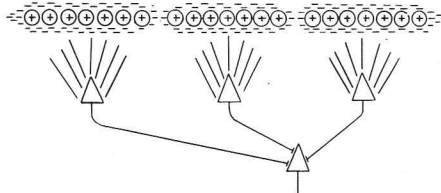
Esse tipo de resposta corresponde a um campo de tipo



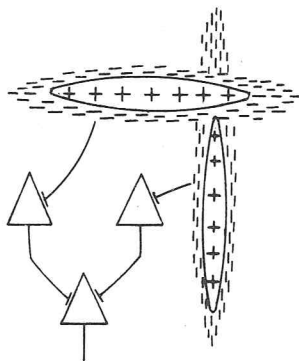
que pode ser devido a uma combinação de campos elementares, de acordo com o diagrama seguinte:

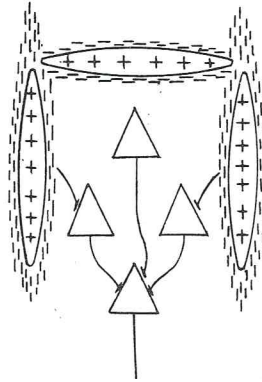


O comportamento das células com reacções complexas pode ser interpretado como o resultado de uma cadeia de processamentos, a partir dos campos elementares.



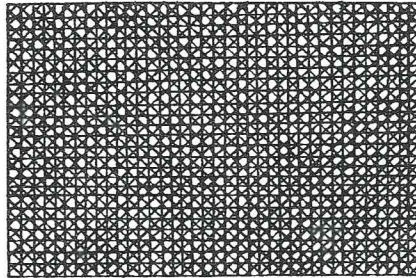
Igualmente o comportamento das células com reacções hipercomplexas que detectam ângulos, pode ser representada pela composição a partir de células complexas.





A especificação adequada das condições de funcionamento dos receptores e das "células bipolares", "células ganglionares da Retina", "células do Núcleo Geniculado Externo", do "Cortex Visual I", e do "Cortex Visual II e III" permite construir detectores de "pontos colineares pertencentes a um mesmo segmento da recta" e de "pontos colineares com os segmentos da recta que definem um ângulo".

Combinando os resultados anteriores podemos especificar uma distribuição das áreas receptivas das células com reacções elementares, e das células com reacções complexas e hipercomplexas, tal que em correspondência com a superfície de receptores, existe uma rede formada por um certo número, muito elevado, de grupos de pontos colineares, que correspondem aos vários segmentos da recta que são possíveis do ponto de vista do estímulo, para uma certa resolução.



Se um estímulo actuar um dos segmentos da recta definidos por um agrupamento de pontos e for depois submetido (1) a uma translacção no plano da superfície receptora, (2) a uma rotação no plano da superfície receptora, à volta de um eixo perpendicular a essa superfície, ou (3) a um aumento das suas dimensões, se houver um conjunto de células que reagem só se células complexas forem activadas, e independentemente de quais forem activadas, esses estímulos poderão ser reconhecidos como pertencendo à mesma classe.

Outra alternativa é a de que dentro da mesma classe, estímulos diferentes simultâneos ou sucessivos, poderão ser ordenados de acordo com a intensidade da resposta das células complexas e do número de células complexas activadas colineares, o que exprime a dimensão do estímulo.

Figuras geométricas regulares serão reconhecidas pela contagem do número de lados, da igualdade dos lados, do número de ângulos, da igualdade dos ângulos e pelo reconhecimento de que essa forma é constituída por elementos bem conexos.

Por elementos bem conexos, entendemos aqueles em que partindo de um ponto especificado da figura, se pode chegar a qualquer outro ponto da mesma figura, sem ter que passar por qualquer interrupção.

As mesmas considerações quanto à possibilidade de obter invariantes à translacção, rotação, contracção e expansão se aplicam neste caso.

Curva, nesta convenção, será uma figura constituída por segmentos colinea-

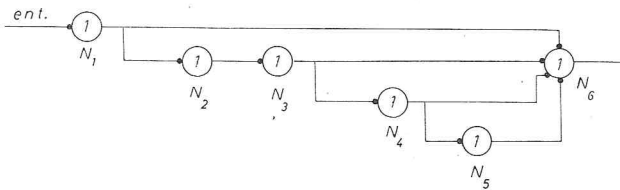
res bem conexos, em que nenhum desses segmentos tem uma dimensão maior que um certo limite. Acima desse limite, arbitrariamente, a figura passa a ser classificada como formada por segmentos da recta.

No caso de figuras mais complexas, o reconhecimento da forma pode fazer-se após uma primeira segmentação da figura em partes.

Essas partes poderão ser submetidas a uma transformação simplificadora e o resultado será então comparado, com outras formas arquivadas na memória ou em consequência de processos de decisão implícitos na estrutura das conexões intercelulares.

Na descrição que até agora fizemos, o tipo de diagramas usados podiam ser integrados de tal modo que as relações espaciais entre os receptores activados ou entre as células elementares, podiam depender da distribuição espacial das conexões anatómicas. Embora essa interpretação seja razoável no que se refere às Áreas Visual I e Visual II, no entanto, no que se refere a processamentos mais complexos, pode admitir-se que a informação já não depende, para atingir o operador especificado, de conexões anatómicas rígidas.

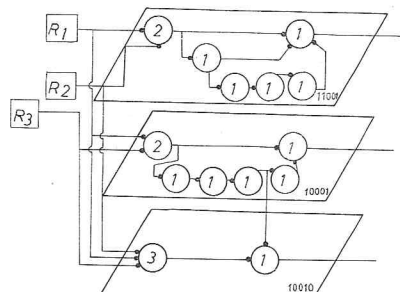
Uma das alternativas possíveis seria que a um dado estímulo, por exemplo um segmento de recta, correspondesse uma representação codificada por uma sucessão de dígitos binários, originados num codificador do tipo do exemplo seguinte



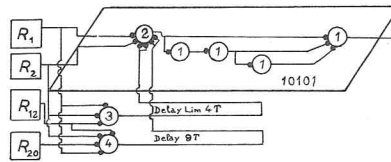
a que corresponde a tabela

	Ent.	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6
t_0	1	0	0	0	0	0	0
$t_0 + T$	0	1	0	0	0	0	0
$t_0 + 2T$	0	0	1	0	0	0	1
$t_0 + 3T$	0	0	0	1	0	0	0
$t_0 + 4T$	0	0	0	0	1	0	1
$t_0 + 5T$	0	0	0	0	0	1	1
	0	0	0	0	0	0	1

As relações entre os diferentes receptores seriam enviadas, "em paralelo", por codificadores do tipo seguinte:



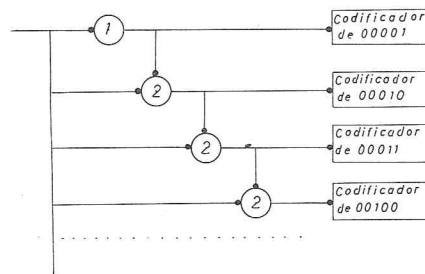
Segmentos de recta, correspondentes a sub-conjuntos de pontos colineares, poderiam dar origem a uma representação, constituída pela iteração dessa mensagem um certo número de vezes, como no exemplo seguinte



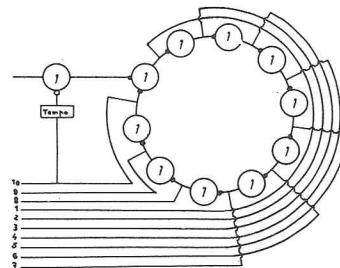
Poderia assim haver uma transformação espacio-temporal, em que a posição relativa dos segmentos colineares seria definida pela sucessão no tempo das mensagens iteradas.

As mensagens poderiam ser enviadas simultâneamente a um conjunto de descodificadores, respondendo apenas aquele cuja disposição fosse adequada para essa sucessão de dígitos.

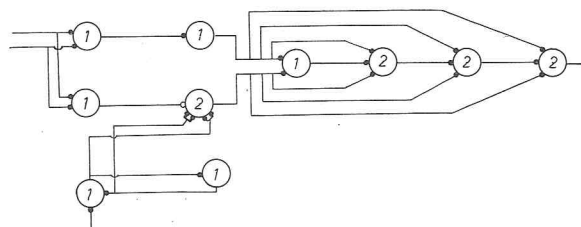
A dimensão do segmento considerado, poderia ser representada pelo número de vezes que o descodificador recebia mensagens desse tipo numa só operação.



O resultado de um conjunto de operações poderia ser recodificado, entrando em seguida numa memória de curta duração como a seguinte:



Os resultados seriam comparados num órgão como o seguinte, que reconhece sucessões iguais de dígitos binários, de comprimento n ($n=4$ neste exemplo). Os neurónios realizam a operação



sobre a mensagem que recebeu na entrada. (O critério de decisão quanto à igualdade, que corresponde a este exemplo, é estrito, e impõe a igualdade de todos os dígitos binários).

Outros tipos de rede poderiam levar à obtenção de classes de mensagens equivalentes. A solução que apresentámos, se, por um lado, tem a vantagem de oferecer uma estrutura muito mais flexível que permite a transmissão de mensagens ao longo de "vias comuns", tem a desvantagem de implicar o funcionamento síncrono dos neurónios. Apesar de ser sempre possível construir redes assíncronas equivalentes às que considerámos nos últimos exemplos, os dados neurofisiológicos sugerem outro tipo de mecanismos, em que a informação relevante é transportada por conjuntos de potenciais de acção ordenados numa estrutura temporo-espacial.

Um modelo mais adequado pode ser baseado no uso de processos de correlação entre uma certa $f(t)$ e uma função unitária repetida com uma certa frequência. Com esse método pode extrair-se a componente com essa frequência, que existe na $f(t)$. Se a codificação usada no S. N. das características que definem as várias classes de sinais, for tal que a cada uma delas corresponde uma dada frequência, será então possível que o reconhecimento seja feito em relação a uma única mensagem pelos neurónios que são receptivos para essa frequência.

Os dados sensoriais de uma dada modalidade poderão ser classificados no contexto formado por (1) dados de outras modalidades sensoriais, (2) impulsos motivacionais, (3) aferências referentes ao Meio Interno e (4) informação acumulada na memória. Estes processamentos dependerão quer das relações de referência entre as várias frequências, e os objectos, situações ou representações internas a que dizem respeito, quer ainda, por uma codificação conveniente, as relações de referência dizem respeito a zonas diferentes do S. N.

Antes de prosseguirmos a nossa discussão sobre o processamento visual, vamos estudar um dos problemas mais relevantes em relação à memória – o problema de como se processa o reencontro e rememoração dos dados referentes ao passado, no contexto dos quais se processam os dados presentes num certo instante. Este reencontro tem a maior importância, porque só através dele poderão ser entendidos os processos mais complexos ligados à parte cognitiva do processamento perceptivo.¹⁷⁸

Se o S. N. submeter as mensagens aferentes a uma operação de correlação, como os estudos de Hassenstein e Reichardt ^{265, 266, 267, 560} sugerem que acontece em certos organismos, então isso poderá também significar que esses organismos realizam um reencontro de informação multidimensional.

Vimos anteriormente como uma dada frequência pode ser extraída de uma $f(t)$ qualquer, limitada no tempo.

Este reencontro de informação nas mensagens, pode ser imediatamente generalizado, no sentido da imposição de que não só uma banda de frequência esteja representada na mensagem, mas várias, o que permite numa procura contextual, usando uma estratégia por intersecção, em que a identificação dependerá das relações entre as mensagens transportadas por uma dada $f(t)$.

Esta intersecção pode realizar-se não só em relação a uma única modalidade sensorial, mas também em relação a diferentes modalidades sensoriais. Numerosos dados experimentais mostram que o fenómeno de convergência é extremamente frequente, mesmo ao nível do cortex.

A generalização seguinte, consiste em admitir que as associações já realizadas podem servir de contexto, não só para as mesmas mensagens, mas ainda para outras mensagens ulteriores. Quer dizer, teríamos uma análise das mensagens aferentes em termos não só actuais, como tomando em conta memórias de curta duração ou com um âmbito no tempo que poderia ser extremamente variável.

Se considerarmos a extensão das áreas de projecção cortical em que é possível registar, tanto potenciais evocados, como respostas de neurónios isolados, a estímulos do meio externo, é evidente que mesmo os estímulos mais simples e sem estrutura, e que são constituídos na situação experimental, pela variação de uma única variável, têm uma representação com uma enorme extensão que excede a área primária e que se estende às áreas primárias de outras modalidades sensoriais, às Áreas Associativas, aos Núcleos Associativos Talâmicos, ao Núcleo Caudado, Núcleo

Amigdalino, Hipocampo, Hipotálamo, Núcleo Rubro, Sistema Reticular Talâmico, S.R. do Tronco Cerebral, etc.

A maior parte das interpretações destas respostas, tomam em consideração apenas os aspectos que implicam a entrada dessas mensagens através das vias específicas e não específicas, e o seu efeito imediato, que se manifesta por esquemas de acção ou por repercussões vegetativas.

Não é no entanto só o estado actual do Sistema que tem importância. Também a história passada do Sistema tem de ser tomada em conta. A primeira pergunta poderá ser: como vai o S.N. processar as mensagens aferentes de maneira a que as memórias apropriadas contribuam para os processamentos em causa? Um dos aspectos desta pergunta, diz respeito ao modo como os processamentos do S.N. vão permitir a localização da informação que pode ser relevante num dado contexto.

Temos portanto um problema de reencontro de informação, cuja solução não é trivial, e que nos domínios das técnicas de utilização dos computadores, está muito longe de ter sido tratado satisfatoriamente.

A difusão de representação das aferências do mundo externo, bem como os resultados que já obtivemos com um método de representação da actividade dos neurónios cerebrais, conduziram-nos a um esquema, em que, mediante o uso das convenções que especificámos, e que são muito aproximadas daquilo que sabemos sobre o funcionamento neuronal, é possível representar sob a forma de redes de neurónios, os algoritmos de auto-correlação, correlação cruzada e correlação cruzada com uma função unitária com uma certa frequência.

A somação de efeitos específicos e inespecíficos, analisada por numerosos autores em termos de facilitação e inibição, recebe aqui uma interpretação com muito mais implicações, porque essas zonas de convergência multisensorial e de integração sensorio-motora, podem estar a somar às mensagens aferentes um dado "índice", que corresponde a uma categorização dentro de uma certa banda de frequência, e que pode exercer um efeito de amplificação da importância de um certo contexto que é tomado em conta, e que é relevante para situações futuras de reencontro.

Esta estrutura sugere não só uma estratégia de reencontro de informação, como ainda uma estratégia de fixação na memória, em que a estrutura das conexões é determinada não só pela mensagem como pelas aferências contextuais.

O filtro ficaria "sintonizado" com as bandas de frequência seleccionadas para que a mensagem pudesse ser reencontrada mais tarde.

A síntese poderia fazer-se usando um algoritmo de síntese de componentes constituídas por séries de valores, ponderados por um coeficiente para cada série. A síntese nas representações em modelo, poderia ser linear no caso mais simples. O tratamento por equações Pseudo-Booleanas permite fazer a síntese de funções não lineares e a introdução de condições lógicas nessa síntese.

As frequências que definiriam os "índices" poderiam ser acrescentadas à informação aferente pelo Sistema Reticular. O reencontro dependeria também, por sua vez, não só dos índices atribuídos no passado, como ainda dos atribuídos num dado momento à informação aferente.

Numa mesma $f(t)$, pode fazer-se a extracção simultânea de sinais pertencentes a bandas de frequência diferentes, e que transportam simultaneamente a informação referente, por exemplo, a um "núcleo sensorial" e ao seu "contexto", no sentido de Titchener. Este contexto pode pertencer à mesma ou a diferentes modalidades sensoriais, ou incluir decisões de acção passadas e ainda sinais correspondentes à caracterização do modo de acção em que se encontra o Sistema Reticular.

É evidente que se podem impor condições, quanto ao prosseguimento do processamento, tomando em conta os sub-conjuntos de neurónios em que um estado de excitação, correspondente a ter sido ultrapassado um limiar, exprime a presença e a amplitude com que um certo componente está presente na mensagem.

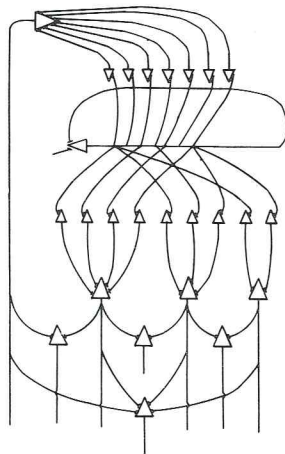
Portanto, se no cérebro houvesse uma estrutura deste tipo, uma certa entrada (input), poderia ter acesso a um extenso sub-conjunto de redes. Os conjuntos de resultados, considerados relevantes tomando em conta o conjunto da situação sensorial, do estado do Sistema Reticular e os resultados de processamentos anteriores,

armazenados numa memória de curta duração que pode ser constituída apenas pela progressão de sinais ao longo da rede, permitiria (1) o acesso múltiplo simultâneo, (2) a selecção, de acordo não só com os conteúdos de memória, mas também das relações entre eles, (3) a memória não teria que ser endereçada, isto é, um sinal que entrasse no sistema desencadearia um conjunto de correlações, e se algum desses processos desse um resultado que ultrapassasse um limiar de decisão, essa informação seria transmitida a um centro nervoso, (4) a organização da memória seria automática e com unidades de computação distribuídas em estreita associação com as unidades de armazenamento, (5) o programa efectivamente executado sobre um certo conjunto de aferências, seria variável e dependeria dessas aferências.

Estas redes são equivalentes a uma memória associativa extremamente extensa, e incomparavelmente mais complexa do que qualquer computador pode oferecer.

Embora o processo de armazenamento que acabamos de expor seja analógico, é possível um nível lógico de interpretação, como mostrámos no capítulo sobre a mudança de convenções.

Do ponto de vista relacional, é admissível que a obtenção de uma correlação com um valor superior a um limiar especificado, num certo grupo de operadores, possa introduzir uma nova componente, na $f(t)$ que está a ser correlacionada num outro grupo de operadores. O contexto diz assim respeito, não só a relações entre mensagens simultâneas, mas ainda aos processamentos passados, que podem intervir juntando "índices".



Esta estruturação pode ser a base da organização de sucessões de respostas, ou de sucessões de actos de detecção dependentes do contexto.

Para a sua simulação, esta estratégia requereria que o reencontro da informação fosse simulado em dispositivos especialmente construídos para esse fim, com unidades de correlação sintonizadas para diferentes frequências, e ajustamento variável de limiares, e em que houvesse um número elevado de unidades com funções aritméticas em que fosse possível um acesso múltiplo simultâneo, com um sistema de filas de espera com uma memória de curta duração.

O Sistema Nervoso satisfaz essa requisição de computação em paralelo, ou melhor "anastomótica", no que se refere à multiplicidade das vias de acesso, e a representação simultânea em diferentes contextos. A complexidade relacional envolvida na detecção e no reencontro contextual de informação, quer simultâneo quer sequencial, corresponde uma intrincada rede anastomótica entre neurónios e grupos de neurónios.

De uma maneira geral, a síntese das $f(t)$ no S.N., seria não linear, devido (1) à introdução de condições lógicas, e (2) à não-linearidade intrínseca de grande

número de operadores ou conjuntos de operadores.

O tratamento matemático destas operações de síntese, seria no entanto possível em princípio no domínio discreto, sob a forma de modelo. As dimensões do sistema excluem a possibilidade de um tratamento exaustivo.

Para cada função de auto-correlação ou de correlação cruzada, permitiria obter o equivalente, para o domínio discreto, do espectro de densidades de frequência para as funções contínuas limitadas no tempo.

Este espectro de frequências analisado por um sistema discreto, poderia ser usado para a detecção de sinais com estrutura muito complexa, como por exemplo na detecção de contornos ou na detecção de cor ou na análise de formas bi-dimensionais.

Percepção e Aprendizagem

Os processos de aprendizagem incluídos na percepção, poderiam não só depender de uma modificação de estrutura em zonas específicas, como considerá-los nos modelos de reflexos condicionados, mas também da imposição, sobre uma certa aferência externa, de um "índice", que constitui um dado contextual, que fará com que essa aferência, ao ser correlacionada, passe a provocar uma certa resposta em consequência de uma experiência passada.

Quer dizer, além dos processos de aprendizagem estruturais, a hipótese sobre o mecanismo de reencontro de informação, que acabamos de propor, chama-nos a atenção para a possibilidade do processo não ter que ser necessariamente local e distribuído por zonas circunscritas do cortex, e poder ocorrer já ao nível dos processos de selecção e filtragem da informação aferente, realizados pelo S. Reticular.

Deve, no entanto, ter-se presente que estes mecanismos dinâmicos são equivalentes a uma modificação de estrutura. Esta equivalência não diz só respeito às consequências do processamento. Inclusivamente, pode ter uma interpretação literal se considerarmos que o início de uma mensagem pode provocar uma alteração da rede, temporária, de modo que, por assim dizer, há uma parte da mensagem que diz respeito a uma programação, e uma segunda parte que é o conteúdo sobre o qual a estrutura vai operar, depois de ter sido programada.

Percepção e Atenção

O esquema proposto mostra-nos o papel organizador das relações entre os estímulos do mundo externo, como qualquer coisa de análogo a uma "atenção dirigida para o interior", em contraposição à atenção que é convencionalmente descrita como uma operação de uma parte do S.N. sobre as mensagens vindas do meio externo. Aqui, as relações entre as mensagens vindas do meio externo, exerceriam uma acção selectiva comparável, mas dirigida para o interior. Poderia especular-se que seria desta organização relacional entre os estímulos do mundo externo, que dependeria a estruturação do S.N. ao longo da evolução. Por outro lado, nos organismos mais complexos, a estrutura inicial, fixada geneticamente, poderia ser constituída, desde o início, por estruturas anatómicas fixas, e por unidades meta-organizadoras, que fariam a atribuição das bandas de frequência, de acordo com um critério de utilidade e de probabilidade de ocorrência.

Um exemplo deste mecanismo seria dado por certos tipos de processos de aprendizagem, que assim não necessitariam de uma reorganização global, mas apenas ao nível de operadores selectivos, cujo estado dependeria de conjuntos de estados do organismo, e que seria capaz de ter uma acção quer difusa quer local. Em relação à acção difusa teríamos então a SF AA, e em relação à acção local o SD PTC, e o Sistema Límbico. A participação deste último sistema explicaria a influência dos factores motiyacionais e afectivos nos fenómenos perceptivos.

Se supusermos, igualmente como propusemos, que o contexto interno tem importância, tal como o dependente de aferências externas, então os resultados da operação de correlação são processados noutros neurónios.

As expansões e as contracções no tempo, ligadas aos limiares que mostramos serem possíveis, no capítulo sobre a mudança de convenções, vão fazendo a agulhagem que permitirá passar de uma informação em paralelo, para uma informação linear. Poderá ainda ter existido, previamente a uma leitura sequencial, um processo de composição por séries, que por fim é "lido" por meio da correlação com os dados contextuais já referidos.

Este factor contextual na interrogação da memória, e no processamento dos dados sensoriais, pode dar o contexto que atribue a cada mensagem, em analogia com o que se passa com a linguagem, a sua significação intencional ou semântica. Esse contexto pode ser constituído por dados resultantes de (1) operações de discriminação conceptual, (2) operações de decisão que dizem respeito a acções globais, e pouco discriminadas como acontece em relação ao Sistema Reticular, (3) de especificação de instruções detalhadas de acção que dizem respeito a comportamentos complexos, (4) igualmente o contexto emocional pode presidir à elaboração de certos índices e à sua leitura ulterior.

A informação é representada de maneira múltipla, e a destruição de certas zonas não fará mais do que impor a especificação de uma leitura contextual apropriada, ou de estímulos mais intensos, para que a informação seja reencontrada noutros pontos.

As fibras radiais permitem a interrogação múltipla inicial com o Sistema Reticular do Tronco Cerebral e S.R. Talâmico, Sistemas Associativos Talâmicos e Sistema Límbico. As fibras horizontais curtas, médias ou longas dão a acção contextual de uma zona sobre outras zonas ou a mesma, após a sua interrogação.

A intervenção da operação de composição de índices derivados de organização pré-formada ou de uma auto-organização presidida por uma unidade meta-organizadora do tipo da proposta no algoritmo sobre o método de armazenagem, permite a passagem a uma analogia com os processamentos ligados à linguagem, em que as mensagens verbais são submetidas a correlação cruzada com os conteúdos armazenados na memória, com efeitos contextuais actuais ou sequenciais, efeitos emocionais, atenção e processos cognitivos em curso.

Quanto ao problema da percepção como determinante de comportamentos a partir (1) dos processos cognitivos de representação do mundo exterior como estratégia de acção, (2) do contexto das aferências do mundo externo e (3) das aferências que as antecedem, cada correlação vai produzindo sucessões em que as instruções para a acção são submetidas a sucessivas transformações espacio-temporais. A correcta segmentação dos comandos que daí resultam, é dada pelos máximos de correlação. Igualmente a estrutura relacional entre as componentes de uma estratégia de acção será dada pelas conectivas que estão implícitas no contexto. Haverá uma actualização constante dos esquemas, de maneira análoga ao que propusemos nos esquemas de decisão progressiva no hilo axonal.

A percepção visual apresenta ainda outros problemas, por exemplo o de os dados serem adquiridos diacrónicamente por fixações sucessivas centradas sobre a zona de maior poder de resolução retineana.

Esta maneira de processar a informação sugere a existência de uma estrutura matricial onde os dados referentes às sucessivas fixações vão sendo inscritos nas posições relativas que lhes pertencem.

Esse parece ser o caso em relação ao homem a partir do que se pode inferir das alterações quer gnósticas quer práxicas relativas ao espaço.

A necessidade da informação relativa à distância e posição de um objecto para que uma dada acção possa ter lugar, põe a questão de como essa informação é obtida e processada.

A partir dos resultados obtidos usando os métodos da psicologia experimental, parece dever concluir-se que as coordenadas de distância são determinadas a partir do ângulo de convergência dos globos oculares para uma aproximação grosseira.

Uma resolução mais fina é obtida pela disparidade entre a posição relativa das duas imagens de um mesmo objecto na retina.²³⁰

A medida dessa disparidade pode obter-se por um algoritmo de correlação espacial bi-dimensional, entre uma amostra de dados referentes a uma certa posição retineana de um dos lados e os dados da outra retina, de modo a determinar que posição relativa têm aqueles em que a correlação atinge valor mais elevado. Para um certo ângulo de convergência, a cada par de posições relativas corresponde uma estimativa de distância.

O método de correlação pode ser objecto de uma simulação em computador. Tem a vantagem, do ponto de vista da exequibilidade dentro de uma dimensão razoável de processamento, de não necessitar de nenhum tratamento prévio dos dados.

O mecanismo de determinação de distância pelo método de correlação cruzada, sugere a existência de um mecanismo "protopático" da visão — se houver dados sensoriais da mesma ou de outras modalidades sensoriais, ou decisões de acção para a realização das quais seja importante saber se existe ou não algum objecto num dado local, a existência de uma correlação positiva referente a um par de posições que definem esse local, dá uma indicação de objecto, sem que seja necessário classificar detalhadamente de que objecto se trata, e sem que seja necessário fazer processamentos tão complicados como aqueles cuja existência sugerimos.

Em relação à cor, as experiências de registo electrofisiológico sugerem um processo de demarcação por contraste simultâneo, das áreas de uma dada cor, análogo ao que descrevemos em relação aos neurónios on e off. Por outro lado, a experiência de Land mostrou que se a resolução da cor for feita em pelo menos duas bandas de comprimento de onda diferentes, a intensidade luminosa em cada uma dessas bandas expressa em relação à intensidade máxima, permite a determinação das coordenadas de cor de cada ponto. Para isso é no entanto necessário que haja uma preservação de informação referente à intensidade luminosa, relativizada em referência à zona de luminosidade máxima — é possível que os neurónios que respondem a estímulos difusos, sem contraste, processem informação desse tipo.

As coordenadas de cor referentes a um objecto, podem, em conjunto com os dados sobre os contornos e outros obtidos por outras modalidades sensoriais, ou que resultem de predicções feitas a partir da experiência passada, dar uma importante contribuição para a segmentação do mundo visual em conjunto de objectos importantes, tanto do ponto de vista da construção do modelo interior do mundo externo, como para a programação das decisões de acção e da execução adequada de actos adaptativos.

Capítulo XVII

Processos Cognitivos

APRENDIZAGEM, PROCESSOS COGNITIVOS E PENSAMENTO

A distinção entre diferentes tipos de Aprendizagem que se faz correntemente, levanta o problema de saber se é possível dar uma explicação unificada para os Reflexos Condicionados, a Aprendizagem por tentativa e erro, e a aprendizagem por Discernimento (Insight), ou se pelo contrário este último processo e os processos Cognitivos em geral, são irreduzíveis aos primeiros.

Vamos considerar este problema, fazendo uma breve enumeração de algumas das relações entre os processos cognitivos, e o pensamento, e por outro lado, os comportamentos adaptativos, estudados pela Teoria da Aprendizagem.

Adoptando um ponto de vista unificado, poderíamos considerar três tipos básicos de aprendizagem:

I - Formas de aprendizagem que levam à formação de estruturas de comportamento que são novas apenas no que concerne uma dada situação, e cuja ocorrência é explicada pelos mecanismos de Reforço ou de Associação.

As leis do Condicionamento permitem-nos a compreensão do processo de que depende a ocorrência dessas estruturas de comportamento. Os processos de discriminação entre estímulos, de Associação e de Reforço, dependem da existência prévia de certas estruturas anatómicas e mecanismos fisiológicos. Os dados experimentais actualmente existentes, permitem-nos compreender nas suas linhas gerais, o modo como o S.N. sofre as modificações transitórias ou persistentes, devidas à experiência do animal na sua transacção com o meio.

Existe, aparentemente, uma inegável distância entre estes processos elementares, em que, por assim dizer, não é necessário ultrapassar o nível fisiológico de interpretação, e por exemplo, os de aprendizagem por Discernimento (Insight).

No entanto, já a este nível, a estrutura simples do comportamento que depende do processo de Condicionamento, cuja ocorrência representa uma reacção adaptativa às características do meio, vai implicar uma modificação, ainda que transitória, dos planos gerais de acção em que está incorporada, e implicitamente exprime uma modificação da representação interna do Meio Externo.

A principal diferença em relação à aprendizagem por Discernimento, dependerá então, essencialmente, da maior flexibilidade e extensão das modificações, e principalmente do uso, neste último processo, de um espaço interior de representação do mundo exterior, para resolver os problemas postos por esse mundo exterior. A representação do mundo externo e das decisões possíveis, por vezes desligadas ou até incompatíveis, com uma apreciação objectiva de situação, são usadas na previsão das consequências dos actos - os estímulos não dão lugar imediatamente a actos.

No homem, esse uso da representação interna do mundo externo é explícito, e o indivíduo pode em geral dar testemunho disso.

No entanto, também as acções que constituem as respostas condicionadas são determinadas por decisões que dependem de mensagens que são elas próprias uma

representação, com transformação, do mundo exterior, ainda que implícita. Em relação ao homem, no que concerne o pensamento dedutivo ou indutivo, o facto essencialmente novo, e a transposição com maiores consequências, consiste na possibilidade da passagem de uma representação do mundo externo, para o espaço de uma representação da linguagem, acessível a um nível de consciência reflexiva.

Mostraremos como mesmo em relação à linguagem, os estudos de Piaget⁵⁴⁵ provam que a continuidade da evolução é também clara, sendo por isso em certo sentido arbitrarias, embora úteis em certas situações, as distinções essenciais entre os processos cognitivos e os mecanismos dos R. C. - A teorização cibernética baseada na neurofisiologia, procura um nível de interpretação lógico dos processos biológicos e psicológicos, e daí resulta, como consequência imediata, o desaparecimento de uma diferença de princípios entre esses dois tipos gerais de processos.

Persiste, no entanto, uma notória diferença no que concerne o grau de complexidade atingido e a existência ao nível cognitivo de processamento de novas relações, bem como uma relativa independência entre as configurações de estímulos e a sua representação interna. No entanto, em alguns casos pode mostrar-se, como fez Piaget, como essas relações derivam, por evolução, das menos complexas, ou até encontrar um paradigma neurofisiológico para elas.

II - A um segundo grupo pertenceriam os tipos de aprendizagem que reflectem um processo de representação interna que depende de generalizações baseadas num certo número de observações. Por um lado, estes processos conduzem à formação de classes ou categorias, e por outro, a decisões quanto à inclusão de um certo conjunto de fenómenos dentro de uma certa categoria geral, a partir de uma evidência limitada (abdução)²²³.

É razoável incluir também dentro deste grupo os processos dedutivos em que embora não haja aquisição de informação a partir do exterior, há, no entanto, um processamento de informação que é adaptativo em relação às situações, na medida em que um certo número de resultados são explicitados, passando a poder ser usados a nível consciente durante os processos de decisão.

Os processos abductivos, em que, a partir de dados em número limitado, o S. N. toma uma decisão sobre o caso geral que deve ser aplicado à situação, podem também servir como modelo na interpretação, tanto de dados referentes aos processos instintivos como aos de condicionamento.

A característica relevante ao nível cognitivo, é também a existência de um modelo interior do mundo externo, que é transformado, e os resultados dessa transformação transpostos quer para o espaço da linguagem, quer para o repertório das estratégias de acção possíveis.

Tanto as modificações do modelo interno do mundo externo, dependentes de processos indutivos, como as dependentes de processos abductivos, resultam de decisões baseadas sobre uma evidência limitada, e exprimem uma expectativa ou uma predição de uma regularidade. Ao nível mais elevado, os processos deste tipo podem levar à construção indutiva de leis a partir das quais se podem formular predicções rigorosas.

Os estudos de Piaget sugerem que este grupo de mecanismos de aprendizagem, poderia ser considerado como surgindo por evolução a partir das mesmas estruturas que as operações concretas, que só após uma longa maturação aparecem como processos a um nível consciente que correspondem a processamentos de símbolos produzidos pelo S. N., e que no caso extremo, poderão até ser discordantes dos dados que resultam directamente da experiência vivida pelo sujeito. O seu ponto de partida são os esquemas sensorio-motores e a coordenação entre esses esquemas.

III - Este grupo inclui a reorganização estrutural de conjuntos de decisões ou de estratégias, de acordo com a experiência que resulta da transacção entre o organismo e o meio, considerada do ponto de vista de sistemas de comando e controle mais complexos.

Haveria a este nível, estruturas neuronais responsáveis pela programação de estratégias de acção ou de estratégias de construção de uma representação do mundo externo, do pensamento em geral, bem como das decisões voluntárias que têm ex-

pressão a nível consciente.

É discutível se se justifica considerar os problemas de aprendizagem ligados às inter-relações humanas no contexto de uma dada cultura, como correspondendo a processos que não são satisfatoriamente incluídos dentro das classes que distinguimos atrás. É possível que novas estruturas relacionais imponham essa distinção.

Uma consequência da aceitação deste tipo de interpretação, seria que, embora os processos de aprendizagem pertencentes aos três grupos mencionados, pudessem diferir tanto a um nível comportamental como fenomenológico, essas diferenças dependeriam estritamente do diferente grau de complexidade das estruturas neuronais implicadas e do novo tipo de relações entre os mesmos componentes elementares.

Neste sentido, haveria uma continuidade entre a aprendizagem, os processos cognitivos e o pensamento.

Algumas estruturas iminentes na organização do S. N. adquiririam preponderância durante o processo de evolução, realizando formas particulares de estrutura relacional do organismo.

No conjunto, o esquema conceptual que apresentámos, permite considerar níveis sucessivos de complexidade. (1) A um primeiro nível haveria uma representação interna do mundo externo do ponto de vista dos comportamentos estereotipados e das modificações simples, adquiridas por processos de condicionamento de vários tipos. A este nível corresponderiam processos perceptivos elementares, comparáveis aos observados nas crianças antes de nelas se observarem os primeiros esforços para uma comunicação ou uma manipulação dos objectos a um nível simbólico. (2) A um segundo nível de complexidade em que um espaço interno de representação do mundo externo é usado para comportamentos do mesmo tipo embora mais complexos do que no nível anterior e sem que o processo ocorra necessariamente a um nível tal que o próprio possa dar testemunho sobre esses processos. A esse nível surgiriam comportamentos ligados a operações sobre as representações no modelo interior e o começo da possibilidade de uma transposição para um sistema de representação simbólica dependente de convenções que caracterizam a linguagem. Tanto as actividades como as representações e processamentos são principalmente dirigidos para a situação imediata de transacção com o mundo externo - (a) a formação de conceitos, (b) a inclusão dos objectos dentro de categorias, (c) a explicitação das propriedades dos objectos particulares a partir da manipulação lógica das classes a que pertencem, (d) as decisões quanto às categorias que são aplicáveis a uma dada situação. (3) Ao nível mais elevado de representação do mundo externo os processos podem ser dirigidos exclusivamente para a construção da imagem interna do mundo externo, susceptível de ser usada a nível consciente - a este nível correspondem, (a) a construção de leis gerais baseadas numa amostragem limitada, e que permitem fazer predicções sobre situações futuras, (b) a definição e resolução de problemas abstractos, (c) o processamento destes dados, com referência a um sistema relacional reflexivo que corresponderia à estrutura de representação do próprio sob os aspectos cognitivo, afectivo, e relacional, com as normas e valores a que aderiu, (d) os processos referidos a um sistema relacional centrado sobre a estrutura das relações entre o próprio e os outros.

RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO PSICOLÓGICA

Os processos cognitivos têm sido objecto de extensos estudos de um ponto de vista puramente psicológico. Além das áreas de investigação que dizem respeito (1) à formação de conceitos, de que faremos menção mais detalhada no capítulo sobre a linguagem, (2) aos processos psicológicos ligados à resolução de problemas, ou (3) ao estudo das imagens e do pensamento, deve fazer-se especial menção dos estudos de psicologia evolutiva das escolas de Piaget, de Vigotsky e Luria.

Piaget descreveu em detalhe as fases sucessivas de desenvolvimento da inteligência, desde o Período dos Esquemas Sensorio-motores, ao Período Pré-con-

ceptual, ao Período Intuitivo, ao Período das Operações Concretas e por último ao Período das Operações Formais.

O ponto de vista de Piaget na interpretação dos seus dados é muito influenciado pela Cibernética, o que facilita o seu uso na construção de modelos.

Vamos expô-lo para que sirva de referência quando desenvolvermos os nossos pontos de vista sobre a especificação e a construção hierárquica das várias estruturas dos modelos dos Processos Cognitivos.

Podemos desde já mencionar que ao Período das Operações Formais correspondem, do ponto de vista psicológico, os mesmos processos que já vimos que era possível que os neurónios realizassem. No entanto, muitos outros problemas extremamente difíceis de resolver, nomeadamente ligados aos conceitos de Referência, Significação, Símbolo, Signo, Intenção, Consciência reflexiva, tornam necessária uma construção muito mais complexa do que uma simples redução imediata das operações formais às operações neuronais.

Deve ainda ter-se presente que uma tentativa do tipo da que vamos fazer tem que incluir além da Consciência, outras estruturas de referência reflexiva, nomeadamente um sistema total de referência que diz respeito ao Eu ou ao Próprio, e ainda um conjunto de instâncias que servem de referência para as relações inter-pessoais. Vamos servir-nos para esse fim dos dados de Cattell, Rogers, Barahona Fernandes e de Allport. A interpretação que propomos terá estreitas relações com os resultados da análise factorial, que são também adequados para um tratamento cibernético.

A escassez de dados sobre os mecanismos afectivos, estudados de um ponto de vista análogo ao de Piaget, torna prematura uma tentativa de interpretação detalhada.

Piaget distingue do ponto de vista de evolução dos processos intelectuais na criança os períodos seguintes: Período Sensorio-Motor, Intuitivo, Pré-Conceptual, das Operações Concretas e das Operações Formais.

O comportamento dos seres humanos durante o estadio que se segue imediatamente ao nascimento, define para Piaget uma primeira fase do Período Sensorio-Motor, caracterizada pela ocorrência de actos reflexos quer isolados quer coordenados em esquemas sensorio-motores cuja estrutura é inata.

Estes esquemas ou já existem desde o nascimento, ou vão surgindo durante o primeiro mês. Segue-se a fase que Piaget designa de Fase das Reacções Circulares Primárias, durante a qual se observam modificações dos esquemas de reacção iniciais. Estas transformações vão ocorrendo em relação com a progressiva maturação do Sistema Nervoso, mas dependem também das situações e dos estímulos a que a criança vai sendo submetida, através de dois mecanismos que descrevemos a seguir.

A modificação dos esquemas sensorio-motores é mediada, (1) por um processo que designa de "assimilação", e que consiste no facto de certos estímulos passarem a provocar reacções que inicialmente não produziam, ficando por assim dizer incluídos num esquema sensorio-motor que já existia antes da primeira ocorrência desse estímulo - trata-se portanto de um processo análogo ao do condicionamento, e (2) pelos processos de Acomodação que correspondem a modificações mais complexas, que implicam a reorganização de esquemas já existentes e a coordenação entre esquemas diferentes.

Será a partir da descrição de Piaget, em que os processos mais complexos vão surgindo por transformações sucessivas dos menos complexos, que faremos a especificação dos modelos dos Processos Cognitivos, considerando-os como conjuntos das funções mais elementares, de que tratámos até agora, e em que surgem além disso novas estruturas e novos modos de relação entre as funções que descrevemos quando tratámos do Instinto, dos Reflexos Condicionados, Motivação, Emoções e Percepção.

Voltando aos resultados de Piaget, podemos mencionar como exemplos elementares das transformações dos esquemas Sensorio-Motores que ocorrem durante a segunda fase, (1) o facto de os estímulos acústicos passarem a provocar movimentos de orientação da cabeça e dos olhos para o local onde foi produzido o som, (2) a criança tentar fazer a apreensão manual dos objectos que vê, (3) os objectos agarra-

dos serem levados à boca seguindo-se movimentos de sucção.

A criança começa a reconhecer alguns dos objectos que lhe são apresentados. Surgem alguns movimentos em reacção a estímulos que já podem ser descritos, do ponto de vista de um observador externo, como exprimindo uma predição ou expectativa da criança em relação à ocorrência de outros estímulos - por exemplo, movimentos de sucção ao ser agarrada pela pessoa que cuida dela.

Os olhos começam a ser usados numa activa observação quer de partes do corpo, nomeadamente das mãos, quer de estímulos ambientais.

A terceira fase, Fase das Reacções Circulares Secundárias, caracteriza-se (1) pelo começo de uma actividade intencional que se exprime em actos tendentes a repetir ou a prolongar certas situações de estimulação, o que implica um rudimento de uma noção de causalidade, (2) pela ocorrência de reacções de procura de um objecto que tenha desaparecido do seu campo visual, o que pressupõe o uso implícito de uma noção de permanência dos objectos, para lá dos lapsos de tempo em que são percebidos.

Continuam entretanto a aparecer novos esquemas, a partir da reorganização dos anteriores.

Começam a surgir reacções aos objectos, em que se manifesta o uso de informação referente às relações espaciais entre esses objectos - por exemplo os movimentos das mãos começam a ser adaptados à distância ou aos movimentos dos objectos.

O reconhecimento das relações espaciais, e o uso dos dados referentes à distância, correspondem implícitamente a um mais complexo processamento perceptivo, e não apenas ao uso dos dados resultantes do contacto de partes do corpo com os objectos.

Observa-se um primeiro esboço do uso de informação referente às relações temporais entre os eventos, que se exprime numa ordenação adequada dos actos que lhe dizem respeito. A retenção na memória é no entanto muito imperfeita e de curta duração.

Como uma das modificações mais importantes que ocorrem durante esta fase deve ainda mencionar-se o início da imitação dos actos que a criança observa no adulto.

A quarta fase foi designada de "Fase de Coordenação dos Esquemas Secundários". Uma das características mais importantes dos novos modos de organização de alguns esquemas de comportamento que começam a surgir nesta fase, é o de estarem integrados numa estrutura hierarquizada, em que há um esquema director e esquemas subordinados a ele, ou então uma ordenação de esquemas em sucessões tendentes a atingir um certo objectivo. Os esquemas subordinados podem ser interpretados como tendo um papel "instrumental" em relação ao esquema director.

Os objectos a que dizem respeito estas novas estruturas dos esquemas sensorio-motores, desempenham, do ponto de vista funcional, umas vezes um papel de instrumento usado para atingir um fim, outras vezes fazem eles próprios parte do objectivo a atingir. Este uso vai permitindo à criança fazer implícitamente uma classificação dos objectos e descobrir novas relações entre eles.

Prosseguem entretanto os processos de "assimilação" e da "acomodação". Os obstáculos que a criança encontra impõem uma reorganização dos esquemas sensorio-motores, caracterizada pela necessidade de intercalar novos esquemas relacionados por um lado com o objectivo a atingir, e por outro adaptados às características do obstáculo a vencer.

Certos esquemas dão indício de um processo na descoberta das relações espaciais dos objectos, nomeadamente a criança começa a tomar diferentes posições do corpo e da cabeça ao observar certos objectos.

Nesta fase, a criança começa a imitar explicitamente certos gestos das mãos ou da língua dos adultos, nomeadamente faz ruídos com os lábios e com a língua tentando repetir o que observa. Estas imitações têm carácter lúdico, e indicam para Piaget, a existência de um esboço de representação simbólica dos gestos dos adultos, que não está estritamente dependente da presença do modelo. Esta interpretação é

confirmada pelo facto de a actividade de imitação dos adultos prosseguir mesmo quando as crianças deixam de os poder observar.

Na transição da quarta para a quinta fase, observa-se que aumenta o número de actos de exploração activa do ambiente. Há um aumento de interesse pelos estímulos novos e um número cada vez maior de transformações dos esquemas.

Na quinta fase, Fase das Reacções Circulares Terciárias, observa-se um aumento da complexidade dos esquemas sensorio-motores, e prossegue a sua reestruturação.

A criança começa a interessar-se mais pelos resultados das suas acções. A exploração activa do ambiente condu-la à descoberta de novos meios e novas estratégias para atingir objectivos.

Durante esta fase, a variedade de estímulos e situações novas que podem ocorrer no ambiente, é fundamental para o seu desenvolvimento. A criança vai fazendo ligações sucessivas entre os esquemas que vai construindo e os objectos vão sendo ligados a esses esquemas por meio de uma exploração activa. No entanto, se um estímulo novo é muito diferente, e não pode ser manipulado adequadamente através de esquemas que não sejam muito diferentes dos já existentes, a criança perde o interesse por ele.

É por isso importante que o ambiente em que a criança se desenvolver, tenha grande variedade de estímulos de modo que ela possa fazer tantas "assimilações" quanto possível, que possam vir a servir de base para ulteriores transformações.

Estas observações são confirmadas pelas de Spitz em crianças que se desenvolveram num ambiente muito limitado, por exemplo em instituições asilares. As experiências de Harlow²⁵³ com primatas, mostram no entanto que não é a simples falta de variedade nos objectos e nas situações o que tem importância. A análise dos seus dados mostra que a falta de estabelecimento de relações sociais e afectivas com uma figura que assume uma posição protectora, é um factor importante.

Nesta fase ocorre uma das modificações mais importantes do comportamento da criança - o início da imitação verbal. Concomitantemente com esta modificação, a experimentação deliberada de novos movimentos e esquemas conduz à descoberta de novos usos para os objectos, observando-se actos comparáveis aos que resultam dos processos de aprendizagem por discernimento (Insight), descobertos por W. Köhler em primatas.

Piaget rejeita a explicação proposta para esses processos pelos psicólogos da Gestalt, que é exclusivamente baseada na reorganização do campo perceptivo, e admite que se trate de uma modificação total dos esquemas sensorio-motores, e não apenas de uma reestruturação perceptiva. Do ponto de vista dos modelos, este novo tipo de processamento corresponde ao estabelecimento de novas relações de referência entre os objectos do mundo externo e as representações que lhe correspondem no S.N., tais que se torna possível a prospecção interior dessa representação das várias acções possíveis e dos resultados que se prevêm para elas.

Ainda nesta fase, a criança reconhece algumas limitações que existem para a sua actividade, e começa a pedir aos adultos que realizem actos de que ela própria ainda não é capaz, o que implica o reconhecimento de que existem relações de causa e efeito, entre esses actos e as modificações que eles produzem.

Do ponto de vista da actividade lúdica, observa-se um progressivo aumento de complexidade, com aparecimento de sucessões ritualizadas.

Na sexta fase, que ocorre aproximadamente pelos dezoito meses, começam a observar-se modificações bruscas dos esquemas de acção que implicam a existência de processos de reestruturação das estratégias de acção, em grande parte independentes, da experiência perceptiva imediata.

Piaget atribue estas modificações a operações imagéticas, que interpreta como processos nervosos que representam as acções e as estratégias de acção.

Nesta fase a criança começa a ser capaz de descobrir qual foi a causa de uma certa modificação, a partir exclusivamente da observação da modificação já concluída. A imitação diferida no tempo, dos modelos que observou, isto é, a imitação quando os modelos já não estão presentes, é usada pela criança na aquisição da linguagem.

Nas actividades lúdicas começa a usar certos objectos como símbolos para a representação de outros objectos o que é acompanhado de gestos que simulam outras situações.

Estas modificações no seu conjunto caracterizam, para Piaget, o termo do desenvolvimento dos esquemas sensorio-motores.

Até este ponto da descrição do desenvolvimento da inteligência na criança, feita por Piaget, cremos que os instrumentos de análise do comportamento das redes nervosas permitem, em princípio, uma representação dos fenómenos observados, mais adequada do que nas teorias psicológicas correntes, na medida em que se torna possível uma transposição fisiológica.

Como já tivemos ocasião de mencionar ao discutir quer os problemas da percepção, quer os dos comportamentos instintivos, uma compreensão dos vários processos psicológicos, tem que tomar em conta aquilo que permanece invariante sob diversas transformações, e não pode ser apenas um catálogo de dados empíricos.

Além disso, o facto dos métodos de que dispomos serem em princípio suficientemente poderosos, não quer no entanto dizer que seja possível simular um sistema tão complexo e com as dimensões do S.N.

Ainda assim, a análise do ponto de vista cibernético tem a vantagem de permitir formular rigorosamente os problemas, de contribuir com novos e valiosos pontos de vista e eventualmente conduzir a hipóteses que possam ser submetidas a uma prova experimental.

A Evolução Ulterior

Na evolução dos processos cognitivos, depois dos estadios de desenvolvimento dos esquemas sensorio-motores, surge um período pré-conceptual e um período intuitivo, a que se segue o período das Operações Concretas. A estruturação das Operações Formais vem pôr termo a esta evolução.

Enquanto os esquemas sensorio-motores apenas asseguravam a eficácia das acções adaptativas dirigidas para um fim imediato, a evolução ulterior vai fazer com que surjam processos que vão permitir uma maior autonomia da representação interna do mundo externo, em relação à experiência perceptiva imediata.

As novas operações que vão surgindo, permitem à criança a compreensão e a explicação das relações entre as coisas. A aquisição de conhecimento torna-se um fim em si própria, embora também contribua para que os actos adaptativos sejam mais adequados.

Neste sentido pode, por analogia, falar-se de "actos de pensamento" com importantes funções na adaptação ao ambiente, e que após a sua transposição para a linguagem servem a estruturação do grupo social e a integração do indivíduo nesse grupo.

À medida que a evolução se vai dando, o repertório que era constituído por esquemas sensorio-motores cuja execução era relativamente lenta, vai sendo completado o suplementado por processos simbólicos muito mais rápidos. Por outro lado, enquanto que durante o período sensorio-motor os esquemas e a sua evolução eram egocêntricos, no período Pré-Conceptual as operações intelectuais são modificadas pela aquisição da linguagem. A comunicação torna-se mais fácil, a criança começa a cooperar com os outros membros do grupo em que está integrada, e a evolução das operações intelectuais passa a depender cada vez mais desse factor social.

O aumento da autonomia das operações intelectuais em relação à situação de transacção com o mundo externo, tanto nas suas componentes perceptivas como nas ligadas à acção, e a aceleração dessas operações, cuja velocidade excede a do próprio discurso, permitem concluir que o S.N. está a utilizar novos processamentos e novos métodos de codificação da informação. Ao mesmo tempo vai aumentando o número de dados armazenados na memória, bem como a extensão e a rapidez com que a criança vai tendo acesso a esses dados, quando toma decisões.

As operações que surgem no final desta evolução, indicam que ocorreu não

só uma transposição dos esquemas sensorio-motores para um espaço de representação simbólica, mas ainda que se fez uma progressiva ordenação num sistema hierárquico de comando e de controle, em que os operadores de nível mais elevado permitem fazer operações lógicas de que o próprio tem um conhecimento reflexivo.

Períodos Pré-Conceptual e Intuitivo

Este período começa entre os 18 meses e os dois anos de idade, em seguida ao aparecimento da capacidade de imitação diferida no tempo. Piaget, infere, a partir desta capacidade de imitação, que o S.N. é capaz de usar os dados sensoriais sob a forma de uma imagem representativa do mundo externo, retida na memória, e a que pode ter acesso. Devemos acrescentar que também a informação sobre os esquemas motores, que é usada como referência para a imitação que ocorre mais tarde, pode ser processada de um modo idêntico.

Piaget interpreta as imagens como uma representação interiorizada das acções, quer praticadas quer apenas observadas. Estas imagens são por assim dizer "respostas implícitas".

Para demonstrar este ponto de vista, Piaget relata observações em que a imitação toma explicitamente o lugar que as imagens virão a ter na reestruturação dos esquemas sensorio-motores.

Numa interpretação com mais elevado grau de generalidade; podemos dizer que a imitação repetida leva à criação de uma representação interna dos actos imitados. Mais tarde, a simples observação, sem qualquer participação motora, é suficiente para a formação de uma representação interna.

Piaget observou que a linguagem interior ou imagética só surge depois da criança ter tido prática sob a forma de solilóquios, monólogos e "monólogos colectivos". Note-se que a aprendizagem da vocalização precede a linguagem implícita, e a capacidade de realizar actos simbólicos ou de fazer imitações diferidas, precede o uso da linguagem.

Piaget⁵⁴² rejeita as interpretações em que se consideram os pensamentos como correspondendo à linguagem interior, porque (1) as acções simbólicas surgem antes da aquisição da linguagem, (2) a imitação diferida e os jogos simbólicos surgem antes da linguagem, (3) comportamentos que implicam a existência de processos simbólicos aparecem em animais. Vigotsky apresenta ainda em favor desta distinção, o argumento de que a rapidez com que ocorrem os processos de pensamento, e a forma elíptica e incompleta que tomam esses pensamentos, são incompatíveis com a hipótese de que haja identidade entre linguagem e pensamento, embora seja evidente que existem relações extremamente importantes entre ambos.

Ainda um outro aspecto distingue a linguagem dos actos simbólicos que a precedem, nomeadamente, as palavras são signos com uma significação que lhes é atribuída arbitrariamente, de acordo com as funções que a comunicação verbal serve num dado grupo social. Nas palavras a distinção entre significante e significado, é nítida, dependendo das regras arbitrárias adoptadas por um certo grupo humano, para definir um sistema de comunicação. Pelo contrário, no símbolo, essa correspondência depende principalmente do sujeito que faz a sua interpretação, e não está especificada por regras, em relação às quais há um acordo geral.

Devem considerar-se ainda, como distintos dos signos, os sinais e os índices em que o significado é uma das características que objectivamente pertence ou existe no significante.

Quando um animal faz um gesto para que outro o repita, está a usar um índice na comunicação. Quando a criança brinca com uma caixa e a leva à boca e faz o mesmo às pessoas presentes significando que elas estão a beber, usa um sinal que não é arbitrário, no sentido de que tem certas características em comum com o acto representado.

Evolução das Actividades Lúdicas

Piaget investigou a actividade lúdica das crianças, estudando a evolução progressiva que começa com os "jogos de prática", em que são exercitados os esquemas sensorio-motores, a que se segue o aparecimento de "jogos simbólicos", de que também existe já um esboço no período sensorio-motor, e por último os "jogos com regras".

Estes jogos reflectem diversos mecanismos adaptativos em relação ao ambiente, permitindo ao observador fazer inferências sobre as diferentes fases evolutivas pelas quais os processos psicológicos vão sucessivamente passando.

Nos jogos de prática observa-se a repetição de actividades que reproduzem, fora do seu contexto habitual, os esquemas que vão surgindo. A criança tenta familiarizar-se com eles por esse meio, e muitas vezes esses esquemas são executados durante a actividade lúdica de maneira extremamente repetida. Pelo contrário, quando a criança chega ao ponto da execução perfeita, deixa de se observar a repetição desses esquemas, o que sugere que essa repetição tenha sido intencional e tenha servido um propósito de aprendizagem.

Nesses jogos além dos retornos intencionais a certas combinações, observa-se também a ocorrência de combinações fortuitas de comportamentos.

O mesmo se passa em relação a certos jogos de perguntas ou de exercício mental, que podem ser interpretados como ocorrendo devido a uma simples prática, a uma combinação fortuita, ou a combinações intencionais.

Os jogos simbólicos reflectem o sistema relacional entre a criança e o ambiente e pertencem já ao nível III que distinguimos na secção de introdução.

Piaget distingue vários tipos de jogos simbólicos que vamos mencionar porque podem servir de paradigma para os sistemas relacionais que importa representar do ponto de vista dos modelos:

- I - que é caracterizado pelo facto de a criança projectar esquemas simbólicos sobre um novo objecto. Este tipo de jogos assinala para Piaget a transição do Período Sensorio-motor para o período Pré-conceptual.
- II - em que não só é projectado um esquema sobre um novo objecto, como ainda o próprio esquema é novo e imitado de um dado modelo. Neste segundo tipo, tanto objecto como o esquema são usados como símbolos.
- III - em que há identificação do objecto com um outro. Ao contrário do que se passa no tipo I em que a identificação não é separável do esquema que é aplicável ao novo objecto, no tipo III a identificação precede o jogo.

Até agora, o que se observa é uma relação entre a criança e os objectos, mais complexa e diferenciada, mas do mesmo tipo que nos processos elementares de aprendizagem.

- IV - é semelhante ao anterior, mas diferencia-se pelo uso do próprio corpo ou do próprio Eu que é identificado com outras pessoas ou coisas.
- V - em que a actividade da criança reproduz cenas ou situações que ocorreram anteriormente, que são representadas simbolicamente.

Nestes dois tipos de jogos não se trata já de relações imediatas com objectos, mas sim com conjuntos integrados de dados, que são simbolizados, em relação não a processos cognitivos isolados, mas sim com o próprio e os outros que surgem correctamente identificados, embora apenas de maneira implícita.

- VI - caracterizado por a actividade estar ligada a situações que tiveram uma forte componente afectiva e implicam por vezes a repetição de cenas desagradáveis.

VII - é caracterizado por a situação ser representada de tal modo que é omitido o carácter desagradável que a experiência teve para a própria criança, ou essa experiência é projectada sobre outra figura.

Nota-se portanto que estes tipos de jogos podem servir de paradigma para os processos de pensamento e as condutas que mais tarde o indivíduo adulto se serve para controlar um estado emocional. Tal como nos casos IV e V a análise da situação é feita em relação ao próprio Eu ou aos outros.

VIII - em que a cena ou a acção representada não dizem respeito a uma experiência passada. Pelo contrário correspondem a uma predição ou antecipação das consequências que poderiam ocorrer nessas circunstâncias.

Este último tipo de jogos corresponde àquilo que do ponto de vista formal será representado, sob uma forma interiorizada, como uma "prospecção no modelo interior".

Os jogos com regras não aparecem durante o Período Pré-conceptual nem durante o Período Intuitivo. O seu início coincide com o desenvolvimento dos processos que Piaget designa de Operações Concretas, e traduzem implicitamente uma adesão a um conjunto de regras cujo valor imediato não é afectivo, mas mais propriamente "cultural".

Durante o período a que correspondem estes jogos, prossegue a aquisição da linguagem e dos processos lógicos. Análogamente ao que se passa em relação às imagens, também os esquemas verbais são inicialmente idiossincrásicos no sentido de que (1) embora dependam dos resultados que a criança vai obtendo na imitação activa dos sons produzidos pelos adultos, (2) exprimem predominantemente o seu ponto de vista individual nessa tentativa e, em consequência disso, (3) os signos verbais têm para ela um significado geralmente diferente do que lhes corresponde na linguagem dos adultos.

Os signos semi-verbais são numerosos nesta fase. A relação entre estes signos e os esquemas sensorio-motores é análoga à que os jogos simbólicos têm para com os jogos de prática.

Progressivamente, as verbalizações deixam de ser uma mera expressão ou acompanhamento cuja significação está desligada, do ponto de vista dos adultos, das acções em curso, e passam a estar relacionadas com processos de representação e de reconhecimento. A partir desta fase as expressões verbais passam a descrever a acção. É este tipo de comportamento verbal que Piaget designa de "Linguagem autista".

As primeiras palavras que a criança consegue formular são substantivos cujo significado é dado pelas crianças através das acções sensorio-motoras em que o objecto designado está incluído. Durante esta fase, a pergunta "o que é isto?" marca uma passagem (1) do uso da comunicação, apenas com a intenção de obter a realização de um certo desejo, para (2) um uso que é característico do adulto, e que visa a conhecer o nome das coisas e o esclarecimento das relações entre essas coisas e as já conhecidas.

A criança vai estabelecendo um sistema de relações que servem (1) na transacção com os objectos e situações mas que simultaneamente tornam possível (2) a comunicação com as outras pessoas, do modo pelo qual os adultos o fazem.

As perguntas servem para alargar o seu conhecimento dos referentes dos signos que vai aprendendo, e permitem a correcção dos erros que possam existir no seu sistema de correspondência. Por outro lado, como a aprendizagem é feita por comunicação verbal, a criança vai corrigindo os conceitos baseados na sua experiência pessoal, por comparação com os usados pelos adultos.

Dá-se não só a aquisição de signos verbais, como ainda a do conceito de classes de objectos. A aquisição dos conceitos de conservação não pode ser feita por simples transmissão de conhecimentos através da comunicação verbal.

Nesta fase, o pensamento faz-se do particular para o particular e os pré-conceitos não designam uma classe geral de objectos ou situações. À medida que a

linguagem autista vai sendo substituída pela linguagem social, por influência do grupo social, persiste sob a forma de linguagem interior.

A partir dos quatro anos de idade os processos de conceptualização progredem rapidamente. Este progresso marca para Piaget o Período Intuitivo, em que os processos nervosos cada vez mais autónomos e implicando a participação de uma quantidade cada vez maior de informação acumulada na memória, exercem um controlo interno sobre a actividade de conceptualização.

Período das Operações Concretas

As operações concretas de que a criança é capaz, são estudadas por Piaget através de manipulações de objectos que envolvem (1) o seu agrupamento de acordo com as características perceptivas que lhes são comuns (o que corresponde à operação de formar classes), (2) operações com os objectos dependentes de diferenças entre eles, por exemplo de comprimento, volume, etc., que correspondem ao uso de relações lógicas do tipo, A maior que B, ou X é o pai de Y, e que servem para ordenar conjuntos de objectos, (3) operações que envolvem a noção de número, que para Piaget e Szeminska, surge a partir da combinação das operações de classificação e ordenação.

Do ponto de vista conceptual, a formulação de Piaget tende a demonstrar a existência de uma correspondência entre as estruturas de pensamento, mesmo as do período das operações concretas e as operações da lógica simbólica. Durante este período vão-se constituindo as operações que surgem organizadas em grupos, por volta dos 7 ou 8 anos de idade.

Este período caracteriza-se, do ponto de vista do comportamento das crianças, pela tentativa de resolver problemas novos por meio de esquemas formados a partir da informação adquirida em situações anteriores. A criança faz uma predição quanto à adequação dos seus actos, e a discordância e os erros dão lugar a uma correcção progressiva dos esquemas que ela usa.

A autonomia que esses esquemas vão progressivamente adquirindo em relação ao material perceptivo imediato, permite o estabelecimento de um "estado de equilíbrio móvel" caracterizado pela existência de um conjunto de operações e das operações inversas dessas, que vão dando à criança uma maior eficácia na sua atitude ou disposição para a aprendizagem, pela aplicação sucessiva das operações ou das suas inversas, o que lhe permite fazer uma prospecção mais completa das situações.

Durante este período, a criança é ainda incapaz de responder correctamente nos testes em que se procura averiguar o grau de compreensão do conceito de conservação de quantidade. Nos testes de Piaget, quando a criança divide a água contida num recipiente por dois ou mais recipientes mais pequenos, ou em recipientes de forma diferente, e em seguida se lhe pergunta se a quantidade é a mesma ou diferente, a resposta é a de que é diferente. Esta falta de permanência é interpretada por Piaget como exprimindo, por um lado, o predomínio dos dados perceptivos — maior número de recipientes, diferenças de altura nos recipientes de forma diferente, superfície da secção da coluna de líquido; por outro, a falta de reversibilidade dos processos de pensamento — a criança não pensa na possibilidade de inverter o processo. Quando se deita de novo todo o líquido no recipiente inicial, é incapaz de tirar do que observa conclusões correctas quanto à quantidade de líquido.

A interpretação em termos neurofisiológicos, que Piaget sugere para estas observações, é a de que a autonomia dos processos nervosos, relativamente aos dados perceptivos imediatos, não é suficiente para que possa ocorrer a inversão do processo.

Mais tarde a criança começa a dar respostas correctas nos casos mais simples, por exemplo quando o líquido é distribuído apenas por dois recipientes, mas não quando é distribuído por mais do que dois recipientes.

Quando em vez de um líquido se usam os grãos que o experimentador introduz num recipiente ao mesmo tempo que a criança o faz num recipiente, de forma diferente, o juízo que se obtém é de que as quantidades são iguais.⁵⁴⁷

Neste período as crianças têm dificuldade, dada uma série de objectos, em escolher objectos de outro tipo em número igual. Se o experimentador reúne os objectos em dois grupos diferentes, cada um com objectos só de uma classe, se os objectos tiverem formas muito diferentes, as crianças deixam de reconhecer a igualdade numérica que existe entre os dois grupos.

A criança não é também capaz de estabelecer relações entre diferentes sub-conjuntos de um dado conjunto de objectos ou entre sub-conjuntos e o conjunto, ou de ordenar serialmente objectos de tamanhos diferentes numa sucessão monótonamente crescente ou decrescente. Piaget interpreta este último resultado como exprimindo a incapacidade da criança realizar manipulações que implicam o uso de relações de transitividade.

A capacidade de realizar estas manipulações ou de dar respostas correctas a testes do tipo mencionado, assinala, para Piaget, o início do período das Operações Concretas, caracterizado pela conservação da quantidade, capacidade de realizar operações com classes, relações e números.

A transição de pensamento intuitivo para o pensamento operacional, acompanha-se por parte da criança, de uma impressão subjectiva de certeza e de necessidade lógica das conclusões.

Segundo Piaget,⁴⁷⁶ o pensamento operacional ocorre quando as várias relações intuitivas são agrupadas num todo. O equilíbrio móvel desta estrutura de conjunto é atingido quando todas as transformações funcionais a seguir mencionadas podem ser efectuadas simultaneamente: (1) duas acções sucessivas podem ser combinadas numa única (transitividade), (2) o esquema de acção é reversível (para cada operação há uma outra operação que é a sua inversa), (3) um resultado pode ser atingido em duas ou mais fases sucessivas sem por isso ser alterado (associatividade), (4) quando se volta à situação inicial esta é reconstruída sem alteração (identidade), (5) a repetição de uma mesma acção ou não acrescenta nada (tautologia) ou define uma nova acção, com efeito cumulativo (iteração numérica).

A possibilidade de realização eficaz destas operações é considerada por Piaget como devida à aquisição de uma capacidade de descentração, que torna o pensamento independente da percepção e da acção.

A maior perfeição dos processos de pensamento e a capacidade de descentração permitem à criança uma comparação entre o seu ponto de vista e o das outras pessoas. Começam a observar-se jogos que se baseiam numa cooperação social. As crianças mostram-se capazes de assumirem responsabilidades em conjunto com outras pessoas, e de partilharem actividades com vista a um objectivo comum. Quer dizer, quando as operações concretas se tornam eficazes, surgem imediatamente sistemas relacionais muito mais complexos que os implicados em processos cognitivos considerados isoladamente.

Construção do Conceito de Espaço

As crianças com menos de quatro anos de idade raramente são capazes de reconhecer objectos só pela exploração táctil-quinestésica, desde que estejam impedidos de os ver. Nessa situação só são reconhecidos objectos com que estejam extremamente familiarizadas.

Esta capacidade parece depender em grande parte da atitude passiva das crianças e da maneira pouco sistemática com que manipulam os objectos, ou em termos de convergência multissensorial, de realizar a transferência de informação de uma modalidade sensorial para outra. Durante o período Pré-conceptual, as crianças começam a fazer uma manipulação mais activa e que embora seja global lhes permite distinguir entre limites de objectos que são curvos, rectilíneos ou que formam ângulos.

Durante o Período Intuitivo a actividade exploratória não é ainda sistemática mas observa-se já um exame repetido das partes dos objectos de reconhecimento mais difícil. A criança é então capaz de distinguir facilmente figuras com um circun-

lo, um quadrado, um triângulo ou uma elipse.

Aproximadamente pelos sete anos de idade, coincidindo com o aparecimento das Operações Concretas com Classes, Relações e Números, a exploração começa a ser sistemática.⁵³⁷

Embora a criança possa não ser capaz de nomear um objecto, mostra-se capaz de escolher um igual quando este lhe seja apresentado num grupo em que estão também incluídos objectos diferentes.

Em relação aos testes de desenho, observa-se que durante o Período Intuitivo a criança começa a ser capaz de fazer a distinção entre o desenho de um triângulo ou de um quadrado, e o desenho de um círculo. Como critério para essa distinção a criança usa a presença ou ausência de ângulos na figura. Durante a fase intuitiva a criança é incapaz de dispor uma série de fósforos entre dois pontos, seguindo uma linha recta, a não ser que possa dispor de uma referência.

A partir dos sete ou oito anos de idade começa a ser capaz de copiar as formas geométricas e de reproduzir séries ordenadas de objectos coloridos.

Para investigar a noção da perspectiva, Piaget serviu-se de um modelo tri-dimensional que representava um grupo de montanhas. Uma boneca era colocada em diferentes posições relativamente a essas montanhas, pedindo-se à criança que, para cada uma das posições escolhesse de um conjunto de desenhos que lhe era apresentado, aquele que representava o que a boneca via, ou que desenhasse o que ela própria via.

Só a partir dos sete ou oito anos de idade começavam as crianças a entender de que problema se tratava, e só pelos nove ou dez anos de idade capazes de conseguir consistentemente uma correspondência entre a posição relativa do observador e do objecto, e a perspectiva.

Para estudar a evolução dos conceitos de horizontal, vertical e de um espaço tri-dimensional, Piaget e Inhelder⁵⁴⁶ apresentavam às crianças garrafas com o bojo cilíndrico e com um nível de líquido colorido a cerca de 1/4 da altura total. Às crianças com cinco anos de idade ou menos, era pedido apenas que indicassem com os dedos, a posição que a água ocuparia, quando a garrafa fosse inclinada em diferentes posições.

A partir dos cinco anos de idade, davam-lhes desenhos do contorno das garrafas, pedindo que desenhassem a posição da água em cada uma de várias posições diferentes das garrafas.

Verificaram que inicialmente a criança imaginava que a água mantinha sempre a mesma posição relativamente às paredes da garrafa, sem que houvesse qualquer indicação de que tomasse como referência um sistema de coordenadas externo.

A partir da fase final do período Intuitivo, a garrafa deixava de servir de referência, mas o sistema de coordenadas não estava ainda completamente formado. Na fase inicial do Período de Operações Concretas a criança só era capaz de desenhar correctamente a posição da água em certas posições, nomeadamente quando a garrafa estava tombada na horizontal.

Por fim, por volta dos nove a dez anos de idade surgem as noções de horizontal e de vertical como fazendo parte de um sistema de coordenadas, e a possibilidade de predizer correctamente as posições do nível da água.

A construção do conceito de Tempo

Ao contrário do que é geralmente aceite, Piaget⁵³⁸ verificou que é falso que exista uma noção de tempo tomado como um fluxo contínuo, dado a priori, ou imediatamente contido na experiência.

Por exemplo, no caso de objectos que se movem, os juízos da criança sobre a simultaneidade ou a sucessão de acontecimentos, dependem da velocidade dos movimentos.

Se as velocidades são muito diferentes, ainda que dois objectos iniciem e terminem simultaneamente o seu movimento, a criança reconhece a simultaneidade do início do movimento mas não acredita que a paragem de ambos tenha sido simultânea.

Se o objecto X se move mais rapidamente que Y e percorre portanto maior distância, a criança diz que Y parou antes de X.

Por outro lado, se X se move com a mesma velocidade que Y, a criança diz que Y acabou primeiro, porque ficou mais à frente.

Existem dificuldades análogas no que concerne ao conceito de duração no primeiro exemplo (no caso em que o início e a terminação do movimento havia sido simultâneo): a criança diz que a duração do movimento foi maior no caso do objecto cujo movimento tenha maior velocidade.

Piaget⁵⁴⁵ observou que cerca de 50% das crianças aprendem o conceito de sucessão no tempo antes do conceito de duração. O conceito de sucessão implica uma seriação enquanto que o conceito de duração implica, não só uma seriação como a construção de um sistema de inclusões. A apreensão destes conceitos coincide com o início das Operações Concretas, por volta dos sete a oito anos de idade, e implica a coordenação dos dois esquemas.

A construção de um sistema de medida de tempo só ocorre pelos nove ou dez anos de idade.

Antes do Período das Operações Concretas a criança não é capaz de entender o conceito de constância de velocidade – se se pede a uma criança no Período Intuitivo, que desenhe os trajectos percorridos em sucessivas observações por um brinquedo que se move sempre com a mesma velocidade e durante intervalos de tempo iguais, as dimensões dos desenhos são desiguais. Só por volta dos nove ou dez anos de idade a criança consegue apreender esse conceito.

O conceito de espaço requer a coordenação dos movimentos já realizados, independentemente de velocidade. O conceito de tempo requer a coordenação das velocidades para uma mesma distância percorrida.

Período das Operações Formais

Mesmo depois do estabelecimento das Operações Concretas a criança é ainda incapaz de realizar operações com proposições verbais. Até aos onze ou doze anos de idade a criança pode até nem compreender como se podem resolver problemas muito simples que estejam postos sob forma verbal.

Pelos onze ou doze anos de idade a criança começa a ser capaz de tratar as expressões verbais como correspondendo às mesmas relações lógicas que era capaz de usar nas Operações Concretas⁵⁴⁰. Recordemos que estas últimas eram caracterizadas por serem realizadas em presença de objectos que podia manipular.

No início da adolescência, pelos onze ou doze anos de idade, a criança não só é capaz de realizar as Operações Concretas como começa a poder usar conceitos quer hipotéticos, quer contrários à realidade, e não apenas os imediatamente dependentes da informação perceptiva.

Começa a poder considerar hipóteses que podem ser ou não verdadeiras, e a realizar operações sobre elas, a chegar a conclusões sobre a sua aceitação ou rejeição, e a servir-se desses resultados para o entendimento do mundo exterior e de si própria, ou para o planeamento dos seus actos.

A designação de Operações Formais^{543,545} exprime a característica de poderem ser realizadas sobre o conteúdo formal de uma frase, independentemente da validade da sua referência objectiva.

Piaget crê que o facto de súbitamente o adolescente passar a dispor de uma grande variedade de processos de pensamento, resulta de esses processos se basearem num número reduzido de estruturas básicas.

Piaget e Inhelder mostraram que as operações combinatórias binárias que os adolescentes são capazes de realizar numa actividade de classificação, são equivalentes

às 16 relações binárias possíveis no Cálculo Proposicional.

A partir de observações feitas em adolescentes, Piaget e Inhelder³¹² concluíram que o adolescente compreende transformações obtidas por negação ou por uma operação reflexiva, e que as operações lógicas formam uma estrutura que designam de "grupo INRC".

As letras INRC designam um "grupo" em que cada operação tem duas operações opostas diferentes - a inversa e a recíproca.⁵⁴¹

- I - (Identidade) - quando realizada sobre uma proposição deixa-a inalterada.
- N - (Negação) - a disjunção é a inversa da negação conjunta (Schaeffer Stroke) e a conjunção é a inversa da incompatibilidade (Função de Peirce).
- R - (Recíproca) - é a relação que existe entre os operadores disjunção e incompatibilidade, e entre a conjunção e a negação conjunta.
- C - (Correlação) - é a relação entre a conjunção e a disjunção, e entre a incompatibilidade e a negação conjunta.

Notemos que todas estas operações podem ser realizadas pelos neurónios, desde que os estados do seu funcionamento sejam interpretados do modo proposto por McCulloch e Pitts.

PROBLEMAS LEVANTADOS PELA REPRESENTAÇÃO DOS AFECTOS EM MODELO

É em relação às vivências afectivas que mais frequentemente se discute o valor do método dos modelos na investigação psicológica.

Os dispositivos ou os programas que representam os processos psicológicos seriam essencialmente incapazes de "ser afectados". O argumento é falso na mesma medida em que seria inadequado argumentar no caso dos modelos de percepção, dizendo que a simulação não é capaz de reproduzir a vivência do azul ou do negro. O modelo apenas permite formular rigorosamente hipóteses para o problema de como os estímulos definidos por um certo comprimento de onda, e uma certa intensidade luminosa, são discriminados uns em relação aos outros, ou percebidos como invariantes sob certos grupos de transformações.

O próprio método científico permite apenas a construção de hipóteses, modelos, ou teorias, cuja correspondência com os dados sobre o mundo exterior é formal, e com valor predictivo e heurístico.

A investigação segundo estes métodos tem as suas motivações na necessidade de um melhor conhecimento do homem e dos processos que nele ocorrem.

Ao nível da interpretação requerido pelos modelos dos estados afectivos elementares, como por exemplo as emoções, as experiências de Olds, as interpretações de Lindsley, Arnold, Hebb, Hess e os esquemas conceptuais clássicos de James-Lange ou de Cannon-Head, bem como os dados sobre o Sistema Límbico, fornecem o paradigma fisiológico para a sua especificação, sem que haja dificuldades.

Ao nível dos afectos, descritos psicologicamente como ligados a motivações secundárias, ou a relações inter-pessoais, dentro de um grupo social em que existe uma cultura acumulada, e normas e valores estabelecidos por convenção, os modelos têm que incluir além das estruturas correspondentes aos processos básicos, outras em que seja possível representar (1) uma experiência acessível a uma consciência reflexiva (no que não diferem essencialmente dos Processos Cognitivos), (2) uma referência a um sistema de coordenadas que corresponda a uma imagem reflexiva do próprio, o que é possível obter usando um processamento de informação sob a forma

de um cálculo lógico, em que haverá um sub-sistema cujo estado depende do estado dos elementos de outro sub-conjunto especificado de sistema, podendo os resultados da investigação factorial da personalidade orientar a nossa investigação nessa direcção.

Assim considerada, a construção de modelos a este nível, não levanta mais problemas do que os postos pelos processos cognitivos ou pela personalidade.

Se considerarmos o estado actual dos dados em que podemos basear-nos, a situação é no entanto radicalmente diversa para cada um desses problemas. Nomeadamente, enquanto que os processos cognitivos foram sujeitos a uma investigação rigorosa, só em certos aspectos limitados (como, por exemplo, no caso das investigações de Harlow) foi feito o mesmo em relação ao estudo evolutivo dos afectos. Infelizmente os estudos psicanalíticos, além de não terem sido efectuados em geral com o rigor necessário, baseiam-se na sua maioria, nos dados obtidos a partir da comunicação de indivíduos adultos.

É extremamente improvável que esses dados permitam o entendimento do que se passou durante o Período Sensorio-Motor, no Período Pré-Conceptual ou no Intuitivo. Mesmo em relação ao Período das Operações Concretas, as diferenças entre os Processos Cognitivos da criança e os do adulto, tornam muito improvável que não haja grandes diferenças em relação aos afectos, em cada um desses períodos. Nesse caso será inadequado o uso como paradigma, das relações entre indivíduos adultos, daquilo que esses adultos podem testemunhar sobre os seus problemas afectivos na infância, embora seja claro que há algumas interessantes correspondências. Muito menos adequado seria servirmo-nos desses dados para estudar a evolução dos afectos.

Os afectos podem também ser estudados tomando como ponto de partida os processos instintivos e as necessidades biológicas básicas, podendo então ser descritos como estados ligados ao Ímpeto (drive), ou a uma Motivação.

A um nível mais diferenciado de organização das funções nervosas, a expressão subjectiva vivenciada como agradável ou desagradável é adequadamente analisada através dos conceitos de afecto e de emoção.

Nos processos de condicionamento mais elementares, a satisfação das necessidades biológicas ou o carácter afectivo agradável ou desagradável, podem exercer um papel facilitador ou inibidor dessas reacções adaptativas.

Existem por outro lado, processos adaptativos de nível mais elevado, através dos quais novos estímulos passam, por aprendizagem, a provocar reacções motivacionais ou afectivas que inicialmente só eram desencadeadas por estímulos inatos.

De outro ponto de vista, muitos dos esquemas comportamentais e estratégias de acção que atingem o nível da adaptação ao grupo social, são aprendidos de tal maneira que ficam ligados, quer aos impulsos motivacionais básicos, quer aos impulsos aprendidos, como ainda, por outro lado, passam a dar lugar a reacções afectivas associadas a processos cognitivos e a comportamentos tão complexos que se torna discutível se, considerada no seu conjunto, a situação pode ser compreendida por simples referência aos processos motivacionais básicos ou às formas elementares de afecto.

A redução a dois tipos básicos de motivação praticada em certas correntes psicológicas, poderia aparentemente justificar-se por uma redução ao núcleo afectivo que se observa nas fases iniciais de desenvolvimento da criança, e de que fazem parte os estados afectivos que correspondem ao amor, à alegria e à agressividade ou ao medo.

Esta interpretação é inadequada se considerarmos o que se passa em relação à evolução dos processos intelectuais. Do mesmo modo que nos Períodos Sensorio-Motor, Pré-Conceptual, Intuitivo, Período das Operações Concretas e Período das Operações Formais, surgem sucessivamente estratégias novas, e que não estão ligadas às que as precederam, por aprendizagem, mas por um processo evolutivo, em grande parte dependente de uma determinação genética, também com os processos afectivos e motivacionais se dará uma evolução semelhante.

Infelizmente a atitude exclusivamente clínica de muitos investigadores, não

conduziu a estudos seriados comparáveis em qualidade científica, aos realizados por Piaget em relação aos processos intelectuais.

A consideração das reacções adaptativas da criança, das estratégias que usam na formação dos símbolos, da constituição das noções de relações, permite desde já concluir que é inadequada a interpretação na base de fenómenos tal como eles são vividos pelo adulto, e reconstruídos na comunicação verbal ou mesmo não verbal. Essa comunicação tem lugar numa fase em que os símbolos usados têm um valor que é fixado por convenção e regras que são aprendidas, o que provavelmente limitará a possibilidade de reconstituir o que efectivamente se passou.

A utilização de dados obtidos no estudo da psicologia patológica, e por outro lado a necessidade de construir conceitos para aplicação clínica, numa época em que o arsenal terapêutico era extremamente rudimentar, e por último, a impossibilidade de atacar os problemas básicos da psicologia com os métodos experimentais disponíveis há já mais de meio século, criaram as condições que explicam a grande importância que as correntes psicanalíticas vieram a adquirir na prática médica.

No entanto, na mesma época, as emoções foram intensamente estudadas em psicologia comportamental, em relação com os instintos e com as motivações biológicas ligadas à homeostase.

Surgiram problemas conceptuais, como por exemplo, (1) o de quais são os ímpetos (drives) inatos e quais os adquiridos, (2) como se processa essa aquisição, (3) qual a relação entre o ímpeto, a motivação e a aprendizagem, (4) quais são as características das motivações afectivas que as distinguem das motivações básicas.

Além das características que já mencionámos noutra parte e que consistem no facto de as motivações emocionais não serem cíclicas, de os actos a que dão lugar muitas vezes tenderem a prolongar o estado emocional, de dependerem de configurações de estímulos mais complexas, a representação em modelo põe como problema principal o tratamento adequado para a componente subjectiva. Essa dificuldade não é essencialmente diferente da levantada pelos processos cognitivos em geral. Além disso, a aquisição de motivações secundárias a partir das motivações emocionais básicas, põe problemas teóricos difíceis de resolver.

Mowrer conseguiu formular uma explicação coerente para a aquisição de uma motivação de ansiedade em relação com certos estímulos, a partir da motivação primária de medo.

A associação segundo um mecanismo Pavloviano, entre um estímulo neutro e um estímulo doloroso, provocaria o condicionamento, em relação a esse estímulo, de reacções vegetativas ligadas ao estado afectivo desagradável causado pelo reforço nociceptivo. Se o animal passava a ter uma reacção motora de fuga quando surgia o estímulo neutro, a diminuição do estado afectivo desagradável pelo facto de não ocorrer a estimulação dolorosa, dava o reforço para a aquisição dessa reacção motora.

Mowrer introduziu assim como variável interveniente, um suposto estado de ansiedade no animal, cuja redução constituiria um reforço no sentido de Hull. Seria assim possível, em princípio, tratar o problema de aquisição de motivações secundárias, servindo-nos do caso da ansiedade como paradigma.

Põem-se no entanto outras dificuldades, que consistem em saber, em relação a estes fenómenos mais complexos, se o que efectivamente o animal adquire é uma motivação ou um hábito.

Uma motivação para a acção é intencional – o que também põe problemas em relação à representação em modelos idênticos aos que existem em relação aos processos cognitivos.

Por outro lado, a aceitar um mecanismo único para aquisição de motivações secundárias, que já existiam em relação a outros estímulos, estímulos novos passariam a provocar as mesmas reacções – mas é nesse caso discutível se há alguma aquisição de uma motivação nova, ou se simplesmente há a introdução de um novo conjunto de estímulos e reacções em ligação com a mesma motivação.

Haverá possivelmente motivações adquiridas ligadas a situações perceptivas, cognitivas ou de interacção social. Os processos de que dependem dizem respeito a

níveis diferentes de organização funcional, com estados afectivos concomitantes também caracteristicamente diferentes, cuja integração vai ocorrendo durante o período de maturação, mas que dependeria não só da maturação como da experiência adquirida na interacção com o meio.

Enquanto que os estados emocionais, o humor, e os afectos ligados às necessidades básicas podem ter uma explicação neurofisiológica simples, o mesmo não acontece no que se refere às formas mais diferenciadas.

Tal como aconteceu nos Processos Cognitivos, os Sentimentos e as Motivações Secundárias só poderão ser explicados por modelos que tomem em conta as complexas relações entre o estado afectivo tomado no sentido estrito e as outras estruturas da personalidade, nomeadamente a consciência reflexiva e os modelos ou esquemas de reacções e comportamentos. A aquisição das motivações secundárias ocorrerá em relação a um certo ambiente e a uma situação de comunicação social, quer por um processo de Aprendizagem, quer por imitação das condutas e atitudes de certos membros da comunidade a que o indivíduo pertence.

Como mecanismo de reforço para esta progressiva estruturação poderá ser invocado o impulso de curiosidade que já discutimos, e a procura de criar circunstâncias que permitam a repetição de afectos especificamente ligados desde o início a certas configurações de estímulos, e cuja esfera se pode expandir ou contrair de acordo com a experiência. É, neste sentido, razoável admitir a existência de um prazer na acção, como faz Piaget, ou pelo contrário um desagrado inespecífico, isto é, não imediatamente deriváveis de necessidades instintivas ou biológicas, e por assim dizer, independentes delas.

Este tipo de explicação permite dar uma interpretação coerente à procura de estados de satisfação ligados ao uso de certas drogas ou, no extremo oposto, à possibilidade de tomar decisões que implicam um intenso sofrimento.

Certos estímulos com determinadas configurações e seqüências, podem provocar nuns casos um estado agradável, noutros desagradável, devido às conexões nervosas. O indivíduo descobre esse facto ao longo da sua vida, e liga a isso cadeias de comportamentos e processos cognitivos mais ou menos complexos, que se vão organizando em estruturas mais globais, e que incluem quer as motivações básicas quer a imagem reflexiva do próprio, o tipo de relações com os outros membros da comunidade e as estratégias de adaptação.

É neste contexto que a execução perfeita de certos trabalhos profissionais, ou a produção de obras de arte ou científicas, ou em certa medida o prazer estético, ou o desejo de prestígio ou de afirmação social, podem ser interpretadas, e não com base em simples impulsos secundários.

DADOS NEUROFISIOLÓGICOS

A nossa interpretação em modelo dos Processos Cognitivos, é fundamentada no conjunto de dados psicológicos bem estabelecidos que já mencionámos. O problema seguinte consiste em analisar os resultados da investigação neurofisiológica, procurando esclarecer se os paradigmas de que nos servimos para segmentar os fenómenos psicológicos, satisfazem ou não a critérios que os tornariam adequados para serem interpretados a partir, quer dos mecanismos neurofisiológicos observados experimentalmente, quer dos postulados pelos modelos neuronais.

Ao nível das reacções mais elementares, vimos que, como característica geral, os organismos estão dotados, devido à estrutura do S.N. e aos mecanismos fisiológicos genéticamente determinados, de conjuntos de funções que se organizam em estruturas.

Muitas dessas estruturas são relativamente fixas, e vão sendo relacionadas com novas configurações de estímulos através dos processos de condicionamento. Temos portanto a este nível os mecanismos fisiológicos do condicionamento como o pa-

radigma para as rotinas e sub-rotinas que são integradas em planos de acção mais complexos.

Já a este nível se encontra também um paradigma para o comportamento intencional, quer nos fenómenos de reafirmação demonstrados neurofisiologicamente, por exemplo nas relações entre o S.R. e o cortex cerebral, ou no Sistema Límbico, ou ainda no controle exercido pelo S.N. sobre as sucessivas estruturas das vias sensoriais específicas. Do ponto de vista comportamental, os mecanismos de reforço ligados à redução de uma necessidade interna, ou à inactivação do S.R., que se exprime pelo desaparecimento da reacção de alerta durante o processo de condicionamento, e ainda os reflexos condicionados instrumental e operacional, e as experiências de auto-estimulação, dão-nos o paradigma para os comportamentos elementares dirigidos para um certo objectivo, e cuja ocorrência se torna mais provável se esse objectivo é atingido.

Mesmo a este nível elementar, podemos interpretar as reacções neuronais estudadas do ponto de vista neurofisiológico, como uma representação dentro do S.N. das configurações de estímulos do Meio Externo, do Meio Interno e da informação acumulada na memória. Face a um registo microfisiológico da actividade neuronal, um observador, se tiver informação sobre a área em que foi feito o registo, é capaz de descrever muitas das características das configurações de estímulos do Meio Externo. Esta descrição não será necessariamente elementar. Vimos como poderia haver no processamento visual o reconhecimento de segmentos de recta e de ângulos, e as experiências de Clynes^{105,106}, Cohn e Gradijan, demonstraram que um observador externo seria capaz de fazer consistentemente mais de 100 discriminações das formas e das cores presentes nas configurações de estímulos. Em estudos comportamentais, as modificações das respostas neuronais no tempo, permitem também saber se ocorreu um processo de condicionamento, de extinção, de habituação, de inibição externa, de desinibição externa, de indução recíproca, uma oscilação da atenção ou do nível de vigilância, etc.

Se este conhecimento é acessível a um observador externo, a pergunta seguinte consiste em saber se existem provas fisiológicas de que esses dados são também acessíveis para certas estruturas do S.N. que estabelecem predicções sobre o mundo externo, que se vão modificando com a experiência, e que constituem um modelo interno do mundo externo. As experiências de Sokolov mostram que o caso é efectivamente esse. A um nível elementar de análise justifica-se a interpretação do funcionamento neuronal, não apenas a um nível de descrição biofísico, mas a um nível de descrição lógico, como o fizeram McCulloch e Pitts.

Estes esquemas básicos de processamento perceptivo, de estruturas de comportamentos, de motivações, de intencionalidade e de representação interna do mundo externo, são satisfatórios como paradigmas não só para os comportamentos que caracterizam o período dos esquemas sensorio-motores de Piaget, como ainda para as modificações dos esquemas devidas aos processos que ele descreve sob as designações de processos de "assimilação" e de "acomodação".

As experiências de condicionamento sensorio-sensorial de Morrell, e a obtenção de reflexos condicionados por associação entre estímulos eléctricos aplicados em duas zonas diferentes do cortex, observada por Doty e Giurgea, mostram que a reorganização do comportamento pode ter lugar sem intervenção dos sistemas motivacionais. Estes dados são importantes porque uma das características dos processos cognitivos é a de darem lugar a modificações de representação interna do Meio externo, muitas vezes desligadas de uma intencionalidade imediata, ou de qualquer motivação básica. As experiências que mencionámos, mostram que existem processos fisiológicos, que podem servir de paradigma para os mecanismos que terão de ser postulados para explicar esta característica de muitos Processos Cognitivos, e a aquisição da linguagem.

As experiências de Myers e Sperry^{600,601}, com preparação de "separação" dos hemisférios (split-brain preparation), permitem-nos encontrar exemplos de que existem processos fisiológicos de que dependem opções tomadas entre dois esquemas de comportamento possíveis numa dada situação.

Myers e Sperry provaram que quando num gato ou num macaco se seccionava longitudinalmente o Corpo Caloso, o Quiasma Óptico, a Comissura Anterior, a Comissura Posterior, a Massa Intermédia, a Comissura do Hipocampo, a Comissura da Habénula e a Calote Mesencefálica, era possível fazer condicionamentos em que a informação ficava armazenada só num dos hemisférios. Usando por exemplo estímulos visuais diferentes para cada um dos olhos, podia ao mesmo tempo, condicionar-se uma reacção motora inversa de cada um dos membros, que era comandada pelo hemisfério a que pertencem as aferências visuais que foram conservadas.

Neste caso um mesmo estímulo pode dar lugar a duas reacções motoras opostas.

Sperry notou também que a conclusão do processo de condicionamento era aproximadamente simultânea em ambos os hemisférios.

Quando o animal era depois exposto a uma situação em que o mesmo estímulo podia ser manipulado com ambas as mãos, mas em que as reacções condicionadas que podiam ocorrer eram opostas, o que se verificava era o predomínio de uma reacção sobre a outra. Este predomínio podia inverter-se ao longo de uma série de observações. Os animais comportaram-se em muitos aspectos, como se tivessem dois cérebros separados um do outro.

Além da demonstração da existência de estruturas que permitem ao animal fazer a opção entre diferentes comportamentos possíveis, este tipo de experiência permite pôr a hipótese de que existam mecanismos cerebrais que serviriam de mediadoras, permitindo que numa situação em que uma informação estivesse acessível só a um dos hemisférios, essa informação viesse a ser transmitida ao hemisfério oposto.

Este mecanismo poderia servir de paradigma para os fenómenos de modificação do modelo interior do Meio Externo devido a uma informação acumulada na memória e processada mais tarde e independentemente da presença dos estímulos.

Nas experiências de controle em que apenas era seccionado o quiasma óptico, os comportamentos condicionados em relação a um estímulo que actuava sobre um dos olhos, ocorria mais tarde quando o estímulo actuava apenas sobre o outro, o que permitia concluir que tinha havido transferência de informação de um hemisfério para o outro.

Ochs e Russel⁵⁷⁰ procuraram submeter a uma verificação experimental a hipótese da transferência de informação de um hemisfério para o outro independentemente da presença do estímulo. Para isso serviram-se de uma técnica de "separação dos hemisférios" de tipo funcional.

Tal como Leão³⁹⁷ observou pela primeira vez em 1944, quando uma zona do cortex cerebral é submetida a uma agressão mecânica, térmica, química, etc. pode ocorrer na zona atingida um estado de inactividade e de inexcitabilidade, que se propaga depois com a velocidade de 3 mm/seg a todo o hemisfério cerebral a que a zona pertence. Buresova e Bures obtiveram em 1956 uma técnica em que produziam um estado de "depressão progressiva de Leão", por meio de aplicação a um dado ponto de superfície do cortex de uma solução de ClK.

A experiência de Russel e Ochs, consistiu em verificar se o armazenamento de informação na memória, de que depende a ocorrência de uma dada reacção condicionada que é aprendida por um dos hemisférios cerebrais, enquanto o outro está inactivo, é ulteriormente transmitida ao hemisfério oposto, quando este volta ao seu estado normal.

Os resultados mostram que o comportamento não ocorre imediatamente, mas que basta o uso de reforço uma única vez para que passe a ser provocado pelo estímulo.

Embora não tenham sido feitos todos os controles possíveis, esta experiência sugere que houve efectivamente uma transferência, porque é pouco provável que o comportamento pudesse ocorrer devido a um único reforço.

Estes processos podem servir de paradigma para a actualização e modificação constantes que se irão processando no cérebro, em resultado da experiência passada. Mesmo durante o repouso continuará a elaboração de novos esquemas de acção

que passarão a ficar incluídos no repertório do animal ou que serão aprendidos muito mais rapidamente.

Foram observados fenómenos análogos em seres humanos, em que o corpo caloso havia sido seccionado por razões médicas, ou em que havia sido lesado por processos patológicos.

Por outro lado, os estudos de Sokolov mostraram que o conceito de modelo neuronal é aplicável mesmo a processos em que intervêm símbolos verbais, o que permite extrapolações para um novo nível de complexidade, em que os processos nervosos podem ser manipulados como representações codificadas arbitrárias, de certos aspectos das situações, independentemente da presença de um referente.

Embora os dados sejam muito reduzidos em comparação com os mecanismos que se procura explicar, seriam processos deste tipo que permitiriam interpretar a passagem do Período das Operações Concretas para o Período das Operações Formais, descrito por Piaget.

Luria e colaboradores, estudaram em situações experimentais o papel desempenhado pelas expressões verbais no comando e no controle dos comportamentos.

O paradigma para os processos psicológicos de que depende a imagem do próprio, seria dado pela noção de esquema corporal no sentido lato que Schilder deu a este conceito.

O paradigma para os mecanismos de fixação na memória por alteração da estrutura seria encontrado, por inferência indirecta, a partir das observações que já referimos sobre as perturbações da retenção na memória, devidas a lesão do Hipocampo e do Núcleo Dorsal Interno do Tálamo.

ALGUNS PROBLEMAS BÁSICOS LIGADOS À CONSTRUÇÃO DE MODELOS DE PROCESSOS COGNITIVOS

Iniciámos o nosso estudo dos modelos dos processos psicológicos com uma interpretação dos operadores lógicos, tal que esses operadores podiam ser entendidos também como Neurónios Formais.

A diferença mais importante em relação aos operadores da lógica consiste no facto de o funcionamento dos Neurónios Formais ser um processo no tempo.

Mostrámos como essa representação é suficiente para uma interpretação dos Reflexos Condicionados, Motivação, Instinto e certos aspectos da Percepção. Pudemos construir modelos formados por redes neuronais que processavam sinais que constituem uma representação codificada do Meio Externo e Interno. Usando os métodos de Programação Bivalente, obtivemos uma representação, em princípio tão aproximada quanto se desejar, sob uma forma discreta, dos dados obtidos por medida directa das variações de potencial eléctrico que ocorrem na membrana de elementos do S.N. Essa interpretação, permite obter uma descrição satisfatória dos fenómenos, quer ao nível biofísico, quer ao nível lógico.

A nossa análise do problema levou-nos a uma descrição do processamento ao nível da membrana e das junções sinápticas, com um grau de generalidade e de adequação superiores aos das propostas iniciais de McCulloch e Pitts.

Conseguimos ainda um tratamento geral para o caso das redes modulares lineares e não lineares com operações definidas em Corpos de Galois.

Definimos um Canal Booleano sem ruído e um Canal Booleano com ruído e medimos a quantidade de Informação processada pelos operadores Booleanos, num contexto em que se faziam algumas suposições sobre a estrutura probabilística dos processos que ocorriam tanto na Rede Neural como no Meio Externo.

Interpretámos depois as operações neuronais como processos de decisão binária, em que as aferências para um neurónio eram consideradas como representando ambigualmente, quer uma descrição codificada do estado dos elementos da Rede ou do

Meio Externo e Interno de que dependiam essas aferências, quer, por outro lado, uma mensagem ou instrução para uma dada decisão binária.

Os métodos de Programação Bivalente permitiram-nos introduzir a noção de Tempo Local e considerar os processos neuronais, como correspondendo a operações em que sucessivos lapsos de tempo entravam como variáveis Booleanas.

Passámos assim a dispor de uma linguagem artificial constituída pelos cálculos que usámos. Mostraremos agora que é possível definir regras de interpretação dos sinais processados, em que a Referência desses sinais é compreendida através do conhecimento da correspondência entre Objectos e Estados do ME e MI e sinais de S_0 . Essa correspondência ocorre nas situações de transacção entre ME, MI e S_0 .

A análise das representações em diferentes pontos da rede, permitirá definir uma interpretação semântica dos sinais que transportam Informação nos processamentos nervosos.

Os processos cognitivos surgem-nos então como dependentes de fenómenos cujas características essenciais são (1) a de serem mais complexos, (2) ser mais importante a participação de factores contextuais, (3) certos sinais serem processados como símbolos, não só de variáveis de ME e de MI, mas também de estados de subconjuntos de S_0 , e (4) de haver certos processos com expressão a um nível de consciência reflexiva.

Seguimos, para estudarmos estes processos, um caminho convencional, que consiste em primeiro lugar, em dar uma descrição formal adequada para os processos observados, construir em seguida um conjunto de proposições gerais a partir das quais é possível obter dedutivamente essas descrições, e por último fazer extrapolações a partir dos processos conhecidos, na esperança de obtermos, como resultado, que a estrutura dos modelos e o seu modo de comportamento tenham analogia suficiente com os dados de observação, para que tenham o duplo valor heurístico de constituírem um sistema provisório de explicação e um conjunto de ideias orientadoras da investigação, que correspondem a um entendimento mais detalhado das relações psicofísicas.

Como o cálculo que usámos nos permitia, em princípio, tratar formalmente desse aspecto do problema, usámos simultaneamente resultados obtidos pela investigação fenomenológica, principalmente de base introspectiva, para especificar o que se deveria esperar do comportamento dos modelos cognitivos.

Nesse sentido considerámos os processos cognitivos, quer como determinantes de acção, quer como processos ligados à construção de uma imagem interna do mundo externo, acessível a um sistema reflexivo de referência.

Para isso integrámos os mecanismos anteriormente considerados nos modelos do Instinto, Motivação, Reflexos Condicionados, Hábito e Percepção, em estruturas mais complexas que incluem decisões e estratégias hierarquizadas de acção, a construção no S.N. de um modelo do mundo externo, o planeamento de estratégias de acção nesse modelo interior, os processos ligados à comunicação simbólica, verbal ou não verbal, e a intencionalidade

Ao conjunto formado pelos modelos de Instinto, Motivação, Reflexos Condicionados, Hábito e Percepção, acrescentaremos novas unidades que processam informação referente aos ME e MI, transportada pelos sinais nervosos e dependente da estimulação dos órgãos receptores.

Os processos de decisão tornam-se mais extensamente inclusivos no que concerne a investigação de (1) sinais correspondentes a estados do ME, (2) sinais correspondentes a estados do MI, (3) estados de outras regiões do modelo, incluindo memórias de diferentes tipos, (4) unidades que realizam novas operações (como por exemplo processos abductivos) ou operações semelhantes às anteriores, mas que dependem da informação referente a factos ocorridos num mais longo lapso de tempo, ou a um conjunto de sinais que pertencem a diferentes modalidades sensoriais ou que incluem a participação de processos emocionais, ou normas e valores, ou ainda dados obtidos em resultado da construção de um modelo do mundo externo e também de partes do próprio S. N.

Os estudos de Piaget contêm dados que justificam este ponto de vista teórico

em relação aos Processos Cognitivos e que adiante discutiremos.

Como problemas prévios, vamos considerar os problemas levantados pela representação em modelo de uma Referência, da Significação, da Intencionalidade. O conceito de auto-organização, necessário para compreender as modificações da programação de um sistema, devidas à experiência adquirida na transacção com ME, ou dos processos representados no modelo interior do mundo externo, foi discutido em relação com o problema da memória.

Referência

Admitimos em primeiro lugar, que existe uma correspondência entre estruturas de estados dos componentes do modelo e estruturas de estados do ME e do MI.

Os estados dos modelos têm assim uma referência, em certos casos, a estados do ME e MI. — Podemos dizer que os representam mediante uma transformação.

Ao mesmo tempo esses estados são determinantes de decisões referentes ao estado de transacção entre o modelo e os Meios Externo e Interno — pode portanto estabelecer-se uma correspondência entre estruturas desses estados e estruturas de comportamentos do modelo. Podem assim distinguir-se dois tipos básicos de referência entre os estados do S. N. e os estados de ME e de MI — uma referência informática e uma referência pragmática — correspondendo a primeira à representação interior dos Meios Externo e Interno e a segunda à representação pragmática do Meio Externo e Interno, como espaços em que se podem realizar as acções adaptativas comandadas pelo S. N.

Def. — Numa dada transacção entre S_0 e ME ou/e S_0 e MI, define-se estadio de processamento em S_0 em um elemento, como a operação realizada numa unidade de tempo por esse elemento, ou, para um conjunto de elementos, pelo conjunto de operações de cada um dos seus elementos durante um lapso de tempo especificado.

Definimos uma correspondência entre estados do ME e MI e estados de uma rede neuronal, especificando uma relação de referência, quando sejam satisfeitas as seguintes condições:

1) A um objecto ou um conjunto de objectos do ME, com o qual é definida uma situação no ME, corresponde em cada estadio de processamento neuronal, uma sucessão única de sinais ou uma sucessão que pertence a uma classe definida de sucessões de sinais.

2) A um estado ou a um conjunto de estados do MI corresponde, para cada estadio do processamento neuronal, uma sucessão única de sinais ou uma sucessão que pertence a uma classe definida de sucessões de sinais.

3) A uma transacção entre S_0 e ME, isto é, entre o modelo e um objecto ou um conjunto de objectos do ME, corresponde uma sucessão única de estados dos efectores de S_0 , ou uma sucessão que pertence a uma classe definida de sucessões de estados dos efectores.

4) Diz-se que um modelo é "activo" no que concerne a mensagens que correspondem a transacções que ocorram num instante não-inicial, sempre que os sinais que definem em instantes diferentes um estadio de processamento num operador ou num conjunto de operadores, e que correspondem a objectos de ME iguais em cada um dos instantes, sejam diferentes, por nesse processamento intervir outro operador ou conjunto de operadores. O modelo é "activo" se a informação processada nesse operador ou conjunto de operadores e referente a uma situação actual, for processada no contexto da informação referente a uma transacção ocorrida no passado e armazenada na memória, ou concernente a outras partes do modelo, e houver uma transformação na sucessão de sinais, que dependa desse contexto diferente.

5) A referência reflexiva de S_0 será definida como a correspondência entre os estados de certos elementos de S_0 e os estados de outros elementos de S_0 definidos como formando um Sistema de Referência reflexivo.

Pode ainda definir-se uma "Hierarquia de Referência" em relação aos sinais processados nas redes neuronais.

Essa hierarquia poderá ser construída satisfazendo a Teoria dos Tipos e tomará em conta a posição que têm no espaço do modelo, os operadores em que uma mensagem é formada ou processada.

Uma dada posição poderá ser definida como função de uma distância que depende (i) do número de operadores que formam a via ou vias que unem esses operadores ou receptor ou conjunto de receptores, (ii) do tempo necessário para os sinais processados num certo receptor serem recebidos com ou sem transformação, no operador considerado.

Os neurónios que formam órgãos de memória permanente não deveriam ser tomados como definindo uma posição.

Podemos agora dar uma definição de compreensão da significação referencial de uma mensagem, como o conhecimento das correspondências 1) 2) 3) e 4).

A compreensão da significação referencial de que falamos é a de um observador externo a S_0 , ME e a MI, mas este conceito pode ser generalizado de modo que inclua também situações em que haja operadores do modelo, que possam ter informação da correspondência entre mensagens em outros operadores e estados do ME e MI, e que as comparem com outras correspondências numa mesma situação ou em relação com outras situações, quer dizer, com outro tempo de observação.

Uma significação referencial é sempre uma construção interior a um modelo, embora exista a possibilidade de uma passagem para uma correspondência entre duas entidades, ambas exteriores ao sujeito que observa e que tem carácter objectivo para o observador.

Certos sub-conjuntos de relações de referência reflexiva entre diferentes partes de S_0 corresponderão ao conceito do Eu ou do próprio, usado na Psicologia da Personalidade, outros a um sistema referencial usado para definir as relações entre o indivíduo e os outros indivíduos, e os restantes dados que caracterizam uma situação de transacção num grupo social.

Os modelos permitem uma representação adequada para as relações referenciais das Atitudes, Sentimentos, da imagem do Eu, das Normas e dos Valores^{440,513}, dos fenómenos Afectivos com expressão a nível consciente, e das decisões voluntárias, como relações entre sub-conjuntos de estados de S_0 e sistemas de referência definidos por outras partes de S_0 .

Muitos dos processos cognitivos têm referentes externos ao sistema e em sentido estrito deve distinguir-se entre o entendimento das relações de referência e as de significação – ainda que, segundo Quine, dois grandes lógicos – Tarski e Carnap⁸⁵ confundam estas noções.

No sentido em que tomamos esses conceitos, a significação de um processo cognitivo é considerada como uma função das suas inter-relações com outros processos de representação interior do sistema. A significação de um certo processo cognitivo será definido como um conjunto de todas as relações entre processos cognitivos e que incluem o processo cognitivo em questão.

Se nos limitarmos a uma estrutura cognitiva num dado instante do tempo, é razoável definir significação pelo contexto, isto é, pelas relações entre esse elemento e outros elementos dessa estrutura cognitiva.

Quillian construiu um modelo de memória em que fez uso deste conceito – "a estrutura total das associações forma simplesmente uma grande e muito complexa rede de nós e associações de memória unidireccionais entre elas..." "Não há nenhuma hierarquia pré determinada de super e sub-classes; cada palavra é o patriarca da sua própria hierarquia se algum processo de procura começa nela. Similarmente, qualquer palavra está em vários locais abaixo, dentro das hierarquias de muitas outras palavras-conceitos, se o processo começa com elas".

O programa de Quillian começa com duas palavras quaisquer cujos significa-

dos são codificados na memória e descobre então as relações semânticas entre elas. Fá-lo pela procura através da rede, isto é, das cadeias de nós e ligações que conectam as duas palavras, uma vez que cada palavra pode ter vários significados apropriados em cada caso. Quando encontra uma via ou uma relação, o programa exprime então a relação entre as palavras numa frase.

Significação e Intenção

A ligação que existe entre os problemas psicológicos implicados no conceito de intenção e uma tradição filosófica, fica bem expresso em alguns autores, no estudo dos problemas levantados pela significação recorrendo apenas a uma análise linguística.

Desse ponto de vista, intencional, refere-se a uma estrutura que tem a descrição verbal de certo tipo de acontecimentos. A característica essencial dessa estrutura consiste no facto de se nessa situação se fizer a pergunta: porquê? a resposta ser tal que inclue palavras ou expressões como "com o fim de" ou "porque", ou outras equivalentes.

Devido à ambiguidade da linguagem, embora algumas dessas expressões ocorram explicitamente sob essa forma, noutros casos a significação da descrição é inteligível sem que a forma seja explicitamente intencional.

Notemos que a selecção de dados que se faz em psicologia clínica, principalmente no que se refere às neuroses, visa obter descrições com significação intencional, que são usadas para construir uma história considerada como um relato significativo dos aspectos relevantes da vida dos seres humanos e que permite a compreensão da intenção dos seus actos.

Todas essas descrições transpõem o nível a que uma descrição física seria satisfatória. A cibernética deu-nos pela primeira vez a possibilidade de usar os conceitos de informação e de "propósito" (purpose) com uma definição tão rigorosa como as usadas em física. Libertamo-nos assim da necessidade de nos servirmos exclusivamente de descrições biológicas ou vitais, etc., que eram relacionadas com as psicológicas. Os conceitos de informação, de comando e de controle que discutimos em secções anteriores têm já a priori, mesmo a um nível de interpretação estritamente neuronal, uma significação intencional que permite interpretar os estados das redes neuronais como equivalentes a uma representação em linguagem de uma dada situação de transacção entre o organismo e o meio.

A interpretação dos estados de funcionamento de um sistema como exprimindo uma intenção, mesmo nessas formalizações rigorosas, só é legítima se for alargada no espaço e no tempo, de modo a incluir não só uma sucessão de actos referentes à situação presente, como ainda o contexto de dados armazenados na memória em que as configurações de estímulos e os conjuntos de actos têm lugar. Quer dizer, torna-se necessário conhecer não só o estado interno do sistema num dado lapso de tempo, como ainda a sua história, para que seja inteligível a significação das configurações de estímulos como relacionadas com actos intencionais.

Não devemos ainda esquecer que é corrente em psicologia designar com uma única palavra e com um único conceito, processos ou situações que são muito disparres de certos pontos de vista em que podem ser considerados.

Esta situação ocorre em relação aos actos reflexos ou estereotipados, ao instinto, aos reflexos condicionados, aos hábitos, às sucessões de actos adaptativos, e ainda em relação aos actos significativos usados na comunicação humana ou aos que procuram o entendimento a um nível científico ou ético do mundo em que vivemos.

Por analogia com as expressões motoras que caracterizam uma intenção ou servem a comunicação, podemos falar no espaço interior do sujeito, da intencionalidade de certos pensamentos que não se ligam senão com outros pensamentos. Quer dizer, em relação a todos estes processos psicológicos, pode acontecer que do ponto de vista da interpretação neurofisiológica que serviu de base à nossa definição de Si-

gnificação correspondam para uma mesma significação "psicológica", de um ponto de vista introspectivo, diferentes significações neurofisiológicas.

Aos níveis mais elevados tem ainda que fazer-se a distinção entre o que é adequado descrever como voluntário e o que é adequado descrever como apenas intencional – se o sujeito se toma a si próprio como um agente de uma decisão de actuar, mas não sabe responder porque o fez, então o acto foi voluntário mas não intencional.

O Problema da Representação em Modelo da Consciência Reflexiva

Embora seja possível considerar os processos cognitivos, o pensamento, decisão, percepção, reflexos condicionados, condutas estereotipadas, instinto, como entidades autónomas, iremos tomar outra posição, que consiste na consideração das situações de transacção entre ME, MI e S₀ e o complexo processamento de informação que lhes está ligado, como integrados num conjunto estruturado.

Podemos agora concluir o estudo da percepção especificando outras fases no processamento de mensagens no S.N., de maneira a integrarmos com os dados perceptivos de uma dada modalidade sensorial, outros dados (1) multimodais, (2) provenientes de aferências reticulares (3) provenientes de aferências visceroceptivas.

Partindo do ponto em que terminámos ao considerarmos o modelo da Percepção, ao último estágio que especificámos deveria agora seguir-se:

(1) associação das categorias inferidas, a) a categorias de outras modalidades sensoriais exteroceptivas, referentes a um período de tempo recente, b) a aferências visceroceptivas e c) a aferências reticulares, quer difusas, quer ligadas à selecção de mensagens por uma acção de filtragem.

Os resultados serão então recodificados por um sistema análogo ao sugerido em relação às fases iniciais do processamento perceptivo.

Esta nova transformação modifica a representação dos dados isolados e é evidente que o S.N. poderá usar como estratégia selectiva para tomar decisões (a) a própria escolha dos níveis de processamento dos dados que usa para essas decisões, (b) o lapso de tempo a que se referem. Sendo processamentos no tempo, a sua ocorrência é equivalente a uma memória de curta duração, e da escolha de um outro instante para uma decisão poderá depender uma modificação do contexto.

(2) Expansão do processo de maneira a incluir mais unidades de processamento semelhantes às consideradas até (1), até que se defina uma prioridade em relação a certos dados que serão determinantes de decisões de acção.

A intensidade de certos estímulos, a importância de certas configurações de mensagens, podem levar a decisões imediatas de acção embora prossiga o processamento dos dados a níveis de cada vez maior complexidade.

(3) Decisão entre várias possibilidades de acção diferentes a) com opção das mais directamente ligadas à realização de uma necessidade b) mais intensamente associadas no tempo e no espaço, c) mais intensas ou d) significativas como desencadeantes de esquemas de acção programados como prioritários (condutas ligadas à defesa ou sobrevivência, a outras acções motivadas dependentes de processos mais complexos).

(4) Introdução de uma nova fase de processamento com interrogação activa de conteúdos de memórias ligadas a situações semelhantes, quer no que concerne (a) às decisões de acção, quer ainda (b) os resultados dessas acções.

(5) opção entre diversas decisões possíveis a) as que servem os processos de homeostase interna, b) as que servem a homeostase externa c) as que não satisfazendo necessidades biológicas podem produzir estados afectivos agradáveis ou desagradáveis, quer (a) ligados directamente aos operadores responsáveis por esses estados (mecanismos fisiológicos das emoções) ou (b) ligados à adesão ou ao repúdio de regras de conduta dependentes de aprendizagem a nível cognitivo.

Chegados a este ponto do processamento estaríamos em condições de construir modelos que tomassem em conta e representassem adequadamente o "Transaccionalismo Funcional e Probabilista" de Brunswick.

Antes de prosseguirmos nessa direcção é necessário redordar que o nível atingido não excede ainda a definição de "Inferência Inconsciente" de Helmholtz, ou o do "Pensamento sem Imagens" da Escola de Wurzburg, pois nos modelos até agora representados não houve qualquer referência a uma consciência reflexiva do modelo sobre o seu próprio estado. Torna-se assim necessário definir a interacção entre os estados reflexivos e aqueles que discutimos até agora.

Ao introduzirmos nos modelos o conceito de "experiência de que o próprio sujeito está consciente e pode prestar testemunho", a primeira solução seria a de incluímos nos modelos, unidades capazes de receberem informação acerca do estado de outros operadores do modelo, que realizam processamentos de níveis diferentes.

Esta concepção não é causa de dificuldades, do ponto de vista neurofisiológico. Pelo contrário ficaria por explicar o "novum" inerente à experiência subjectiva - qualquer coisa que é diferente daquilo que poderia ser compreendido directamente a partir de construções teóricas análogas às da física ou da química ou mesmo da biologia em geral.

Neste sentido, é conhecido desde o trabalho de Rosenblueth, Wiener e Bigelow como uma estrutura homeostática pode incorporar e explicar um comportamento intencional, aparentemente finalista: esse dispositivo maquinal pode ter comportamentos tão integrados e tão adequadamente dirigidos para um fim, que um observador exterior ao sistema, pode ser incapaz de distinguir esse comportamento de um outro sujeito ao comando e ao controle a nível consciente, de um ser humano.

A adequação desses dispositivos pode ser tão grande que se torne conveniente a substituição de um comando humano por um automático, por exemplo numa cadeia de fabrico, no comando de uma aeronave, com aumento quer da eficiência quer da rentabilidade, no que concerne a certos tipos de tarefas.

Não se quer dizer com isso que todos os comportamentos intencionais são mecanizáveis mas apenas que existe uma teoria e dispositivos artificiais capazes de realizarem tarefas altamente complexas de um modo indistinguível do ponto de vista de um observador externo, de grande número desses comportamentos intencionais.

Em relação a todos esses comportamentos é legítimo pôr a questão de se esse controle consciente não é apenas uma aparência epifenomenal. Podemos supor que numa decisão tomada a nível consciente as estruturas neuronais de que dependem os sucessivos estadios de processamento podem simultaneamente dar lugar, por um lado a experiências a nível consciente e por outro a processamentos neuronais de que dependeriam as decisões neuronais de acção.

Esta hipótese exigiria que os processamentos neuronais tivessem um grau de complexidade tal que um observador que não conhecesse o seu detalhe tivesse a convicção de que eles eram formalmente idênticos àquilo que pensa que se passa quando toma decisões conscientes.

Há no entanto uma pergunta mais importante, que consiste em indagar se com base num preconceito que resulta de apenas conhecermos bem o comportamento de sistemas muito mais simples, poderemos estar a negar a existência de qualquer coisa de muito importante ao interpretarmos os processos conscientes como epifenómenos.

A solução seria supor que um fenómeno neuronal e outro fenómeno neuronal que lhe sucede, estão relacionados entre si, e com outra estrutura que deixamos não interpretada de um ponto de vista ontológico.

Haveria uma relação triádica: um processo neuronal leva a outro processo neuronal para "alguém". Deixaríamos por interpretar a palavra alguém, mas aceitaríamos a existência de uma estrutura relacional em que "alguém" participasse de tal modo que teria influência sobre os mecanismos neuronais e fosse por eles influenciada.

A questão mais importante seria a de descrição adequada desse termo, tarefa que tem sido tentada por gerações sucessivas de psicólogos e psiquiatras. As

teorias de que dispomos não permitem uma objectivação das especificações desse termo senão de maneira muito imperfeita, em relação à qual não há acordo geral nem sequer ainda uma linguagem adequada para as exprimir.

Seguindo o caminho de Peirce, De Morgan, Russel e Whitehead, Wiener e Kuratowski, de Tarski e outros, Roberto Moreno-Diaz e Warren S. McCulloch conseguiram recentemente uma formulação algorítmica do cálculo de relações triádicas, por meio de tensores Booleanos.

É uma verdadeira experiência, que aguarda quem a realize, primeiro, formalizar os dados já existentes e depois esclarecer, dentro desse sistema formal, se as consequências da aceitação do poder explicativo desses dados são adequadas, do ponto de vista das disciplinas particulares a que pertencem – a neurofisiologia, a psicologia, a psiquiatria.

Note-se que nesse caso o problema das relações psicofísicas passaria a existir apenas como problema ontológico. Como problema científico perderia significação, porque uma estrutura neuronal seria capaz de realizar qualquer função que tivesse sido completamente especificada.

A experimentação poderia então mostrar, em princípio, se os dispositivos biológicos mostravam no seu funcionamento qualidades compatíveis com o que se tinha posto como hipótese dentro dessa formulação científica. Haveria assim possibilidade de caminhar para a resolução do problema usando uma metodologia científica – o que não implica que numa ciência aplicada como é o caso da medicina, fosse esse o nível de linguagem mais adequado para ser usada na prática clínica.

Esta construção teórica, embora não tenda a resolver o problema das relações psicofísicas, reduzirá o peso deste problema, se, começando com uma hipótese deste tipo, se puder dar uma descrição dos mecanismos cerebrais, que possa ser confirmada ou infirmada experimentalmente.

A situação das estruturas de que dependeria essa parte não interpretada do modelo, seria num certo sentido análoga à das unidades cujo estado depende dos receptores que traduzem o estado do meio interno ou externo, com a diferença de que os processamentos de que deriva a experiência consciente dependeriam do estado dos neurónios do modelo e não do estado dos receptores.

Na programação do modelo haveria ainda níveis mais elevados:

- (6) estabelecimento de uma predição dos resultados da acção;
- (7) decisão final da acção;
- (8) comparação dos esquemas motores e das aferências que exprimem os resultados da acção com as predicções aos níveis 5) 4) 3) 2) e 1);
- (9) contribuição dos dados para a construção de um espaço interior ligado à programação das sucessões mais longas de comandos.
- (10) construção de um espaço conceptual onde se processariam os dados mais abstractos e seriam possíveis "experiências no modelo" sem que daí resultasse qualquer acção ou comando que afectasse de maneira imediata a transacção com o meio ou a comunicação simbólica com o exterior;
- (10¹) ao mesmo nível haveria um espaço da linguagem equivalente ao anterior e com muitos aspectos em comum com ele, mas ligado à linguagem e à expressão simbólica, e ainda à interpretação da comunicação simbólica vinda do exterior;
- (11) a este nível haveria ainda uma memória de longa e de curta duração que arquivaria os resultados dos processos realizados, tanto os não interpretados como ainda os ligados a uma interpretação intencional;
- (12) igualmente a este nível, embora correspondendo a outras unidades mais simples que existiriam a níveis inferiores, existiriam unidades de auto-programação de que dependeria a auto-organização creadora do sistema. (Numa outra parte do trabalho demos o algoritmo que especifica em princípio o modo como isso seria possível).

Em relação com os níveis 1) a 12) deve ser introduzida uma outra característica da realidade: a de que certos mecanismos são acompanhados de uma experiência agradável ou desagradável. Os mecanismos neurais que determinam essa experiência podem influenciar a vários níveis, a selecção entre várias acções possíveis do organismo.

Embora uma experiência agradável acompanhe geralmente uma satisfação de necessidades internas, com utilidade do ponto de vista biológico, pode, pelo contrário, estar completamente dissociada de qualquer utilidade e constituir por si só a motivação de actos, que não só não tendem a satisfazer necessidades internas como, pelo contrário, produzem efeitos nocivos, e que, apesar disso, são realizados.

Esta independência das componentes afectivas em relação à satisfação de necessidades biológicas, ocorreria ao nível cognitivo e estaria relacionada com a experiência afectiva, quer consciente, quer não imediatamente consciencializável, mas pertencendo ao mesmo tipo de processamentos.

Uma outra consequência da existência de um modelo interior do mundo exterior seria a possibilidade de realizar, a nível consciente, processos de pensamento dedutivo, abductivo ou indutivo, com dados abstraídos da realidade.

Estes processos poderiam também influenciar os mecanismos perceptivos, motivacionais, emocionais e instintivos a vários níveis. Do ponto de vista motor, poderiam levar a uma reorganização de certas das rotinas que foram descritas anteriormente.

Um outro problema é o da diferença entre (1) dados perceptivos cujo valor simbólico deriva exclusivamente da organização integradora que o processamento no S. N. lhes permite e (2) dados perceptivos de "material já organizado" como ocorre na leitura de um texto, na audição de uma mensagem verbal ou na percepção de uma obra de arte, cujo valor simbólico é em muitos casos arbitrário.

Neste último caso o estímulo externo está organizado arbitrariamente, e possui uma estrutura relacional com o conteúdo da memória do sistema que recebe a comunicação, tal que permite a transmissão de informação sem referência às características do Meio que não entrem na definição de situação de comunicação, ou em que essa conexão é imediata. No entanto, ainda a este nível, teriam importância os processos mais elementares, - desencadeamento de esquemas instintivos, necessidades internas, estados afectivos transitórios ou de longa duração, disposições para a acção, contexto formado por outros estímulos sensoriais não organizados, etc., que poderiam modificar numa certa extensão o modo como o material organizado é recebido e processado.

Seria por último destes níveis que dependeria a atitude para com a tarefa (*einstellung*) ou as "tendências determinantes" da psicologia da Escola de Wurzburg.

REINTERPRETAÇÃO DOS MODELOS ANTERIORES COM BASE EM UM MODELO DOS PROCESSOS COGNITIVOS

Os processamentos que ocorriam nos Reflexos Condicionados, Motivação, Instinto e Percepção estarão incluídos nestes modelos, muito mais complexos, dos processos cognitivos. Todavia será muito maior o número de estruturas interconectadas, e haverá unidades de comando e controle de ordem mais elevada. Em consequência desse facto as estruturas de comportamento mais elementar passarão a surgir incluídas em estruturas mais complexas.

Para a ocorrência dos processos elementares de comportamento, considerados nos modelos apresentados nos capítulos anteriores, será necessário que apenas uma parte do modelo esteja activa - dito de outro modo, justifica-se que os comportamentos elementares sejam considerados como casos simples, ou degenerados, de

processamentos mais complexos. A configuração de estímulos que caracteriza a situação de transacção nesses casos, foi tal que apenas uma parte de uma complexa estrutura de comando e de controle foi activada, enquanto a restante permaneceu inactiva.

Por outras palavras, propõe-se uma interpretação em que, por exemplo, em relação aos R. C., se pode dizer que eles não são elementos que, por composição sucessiva, vão produzir os comportamentos mais complexos. A análise da situação de condicionamento mostra que eles ocorrem apenas nas circunstâncias em que as outras componentes que normalmente lhes estariam associadas são transitóriamente inibidas, ou, pelo menos, as outras estruturas não estão activas devido à limitação de liberdade das configurações de estímulos que se permite que ocorram nas condições experimentais.

Noutro aspecto, a maior complexidade dos modelos dos processos cognitivos permitirá que as mensagens por eles processadas sejam também mais complexas e dependam de uma muito maior variedade de estados de subconjuntos de elementos de ME e MI, quer simultâneos, quer ordenados no tempo, do que nos modelos anteriores.

Surgirão como relevantes combinações de estímulos multisensoriais muito mais complexas, e em consequência desse facto, de estados do modelo ou de sucessões de estados de processamento. Haverá ainda participação de novas estruturas, como as unidades ligadas aos processamentos dedutivos, indutivos e abductivos, as unidades de que depende a representação interna do mundo exterior, as unidades de decisão ligadas à programação de estratégias de acção, haverá participação de novos factores, como normas e valores, definidos em modelos, e ainda uma muito maior extensão dos conteúdos das memórias que são tomadas em conta nos processos de decisão.

Algumas das novas e mais complexas estruturas, terão funções de comando e controle sobre as novas unidades introduzidas no modelo, e ainda sobre as que correspondem aos modelos previamente apresentados, sendo capazes de ordenar num plano estruturado, não só os actos do modelo, como ainda o processo de amostragem através do qual o modelo obtém informação sobre o estado do ME e do MI.

Dado que se dispõe de uma representação codificada do ME e do MI, quer em relação a um dado instante, quer no que concerne a eventos passados, neste último caso através de diversos tipos de memórias, torna-se possível representar a realização de processos dedutivos, indutivos e abductivos, bem como uma auto-programação do modelo nos moldes que propusemos no capítulo sobre a memória.

É razoável, no que concerne à representação em modelo dos processos cognitivos tomar em consideração relações com uma significação que corresponderia a uma compreensão dos estados de transacção entre o modelo e o ambiente. Essa compreensão seria definida pela correspondência entre certos estados das componentes do modelo e os estados de outros elementos do modelo que constituem um sistema de referência. Esse sistema de referência poderá ser especificado de tal modo que seja uma representação, no espaço do modelo, daquilo que em Psicologia se designa convencionalmente de *Eu*, ou *Proprium*.

Resumindo o que antes dissemos como introdução a este problema, é razoável esperar, a partir dos dados da psicologia introspectiva, que os modelos dos processos cognitivos (1) tenham uma estrutura muito mais complexa correspondente à existência de relações também mais complexas entre diferentes níveis de organização e diferentes estados de processamento de informação; (2) impliquem processos neurais que de maneira geral serão muito mais demorados.

A consideração da evolução dos processos cognitivos a partir das fases iniciais do Período Sensorio-Motor, descrita por Piaget, sugere-nos que em relação a eles, os diferentes estados do modelo quando tem lugar uma transacção entre S_0 e ME e MI, implicam uma situação em que é adequada a sua descrição através do uso dos conceitos de estratégia e decisão, referentes (1) à parte receptiva do processamento de informação, que inclui (a) a detecção de sinais, (b) a extracção do sinal em relação ao ruído, (c) a estratégia de amostragem de informação sobre os

estados quer do ME que do MI, (d) operações de selecção e filtragem; (2) as acções possíveis e a sua estruturação em sucessões no tempo e no espaço; (3) a predição de transacções futuras e o planeamento do comportamento tomando em conta essas predições; (4) o uso sistemático de símbolos na comunicação dentro do grupo social e na construção de uma imagem interna do mundo externo.

Nos modelos de Reflexos Condicionados, Motivação e Instinto havia uma relativa rigidez na correspondência entre estímulos do ME e do MI e conjuntos de estados de actividade dos effectores que dependem desses estímulos. Nos modelos dos processos cognitivos não é esse o caso, porque a informação referente à situação presente é processada tomando em conta não um estímulo isolado, mas (1) um conjunto de estímulos da mesma ou de diferentes modalidades sensoriais, pertencentes quer ao ME quer ao MI e sua estrutura relacional, (2) memórias de estímulos passados e de relações entre esses estímulos, (3) memória de actos e estratégias passadas, (4) memória dos resultados de acção passados, no que concerne os estados dos diferentes tipos de effectores do modelo, a sua relação com as configurações sensoriais que lhes deram lugar, as estratégias e sucessões de estratégias, o seu grau de sucesso e de utilidade, (5) a fixação de objectivos com ponderação preferencial de acordo com uma hierarquia de hábitos e tendências de estabilidade variável, (6) predição de modificações futuras do ME, do MI e do estado dos elementos do modelo, quer ligado de maneira imediata ao conjunto da experiência actual, quer relacionado com o estado de ME e MI de uma forma que depende do remanejamento e combinação desses dados, no espaço do modelo interior do mundo externo; (7) escolha de uma estratégia geral mais ou menos rígida, e de decisões particulares variáveis, incluídas dentro dessa estratégia; (8) predição de outras estratégias e preparação para a sua possível utilização e ainda (9) um processo de codificação que depende também da experiência passada.

Por analogia com o uso no senso comum da palavra "invenção", poderíamos dizer, dada a importância dos factores contextuais, que o modelo por assim dizer "inventa" a situação actual em que se encontra: - os dados perceptivos e referentes a outros factores do ME e MI são "corrompidos" dada a ambiguidade inerente às representações dentro do sistema nervoso, e os erros, "o ruído", que sem excepção ocorrem no funcionamento neuronal. Ao decidir qual é a representação que convém à situação em que se encontra, e ao processar os dados actuais servindo-se de informação acumulada no passado, o S.N. ultrapassa em muito os dados que correspondem exclusivamente ao estado do ME e MI e constroi uma representação global em que esses dados são corrigidos e interpretados num contexto que excede a informação actual.

Fica assim aberto o caminho para explicar o pensamento, em relação com grande número de situações, como correspondendo à prospecção dos dados, das decisões e das estratégias possíveis, mas que não se transformam em acção. O modelo tem operadores capazes de processar símbolos que representam esses dados e é capaz de fazer a prospecção de acções representadas num ambiente suposto, também representado. Peculiar ao homem é a ligação entre o pensamento e a linguagem. É sugestivo nesta interpretação o paralelismo com o facto descrito por Piaget e o seu grupo de que os esquemas sensorio-motores e as operações ulteriores representam operações intelectuais antes de elas aparecerem como operações que o sujeito é capaz de realizar sobre proposições que descrevem formalmente a situação. O pensamento autístico da criança nas interpretações de Piaget e de Vigotsky faz a passagem para um conjunto de processamentos intimamente ligados à linguagem e ao espaço categorial e conceptual que lhe é inerente e que quanto podemos saber, só o homem possui.

DESCRIBÇÃO DO MODELO DOS PROCESSOS COGNITIVOS

Exponemos agora o modelo sob a forma de um diagrama de fluxo de informação entre blocos em que se realizam processamentos que não são especificados em detalhe.

Consideraremos nesse modelo um primeiro nível de processamento, com diferentes estadios, nos quais os sinais são classificados por operadores que recebem informação de receptores de uma ou mais modalidades sensoriais. A este nível consideramos já processos dependentes de informação armazenada sob uma forma de memória, o que permite que critérios obtidos através da experiência passada possam ser tomados em conta no que concerne a detecção do sinal ou a extracção de um sinal que é acompanhado de ruído.

A este nível existem já conexões com centros que comandam actos motores limitados a um pequeno conjunto de efectores ou com diversos graus quanto ao número de efectores conforme as configurações de estímulos recebidos numa única ou em diferentes modalidades sensoriais simultaneamente.

Os conjuntos de mensagens que resultam de sucessões de operações elementares realizados ao primeiro nível são processados no estadio seguinte tomando em conta o contexto formado por operações do mesmo tipo que precedem ou se seguiram ao processamento considerado, e que pertencem tanto à mesma modalidade sensorial como a outras modalidades, e que convergem num complexo processo multisensorial.

Nestes dois níveis participam ainda os operadores de MI, Motivação, Atenção e os órgãos de comando e controle dos efectores de que depende a parte motora da transacção entre os receptores e o Meio Externo.

Estes factores, no seu conjunto, vão definindo um quadro de referência nas dimensões do espaço e do tempo, que delimita conjuntos elementares de processamento aos quais se seguem acções imediatas dos efectores.

A estes actos elementares no modelo, correspondem, em Neurofisiologia, os Reflexos elementares, a coordenação entre actos reflexos e a nível mais elevado, os comportamentos estereotipados, e os esquemas inatos de acção.

A acção selectiva da Atenção e da NI realiza-se através do Sistema Reticular Activador Ascendente e do Sistema Difuso de Projecção Tálamo-Cortical, e das estruturas do Sistema Límbico.

É através destas estruturas e do Hipotálamo que os mecanismos de regulação dos estados emocionais participam nos processamentos sensoriais elementares.

A acção selectiva desses sistemas realiza-se como foi já demonstrado a nível fisiológico, por meio de uma interacção facilitadora ou frenadora que depende da situação de transacção com o Meio Externo. Um outro mecanismo, menos evidente, de facilitação ou de frenação, está ligado à ordenação no tempo e à rapidez do processo os dados facilitados são processados mais rapidamente que os frenados, como também se conhece bem a Fisiologia.

Um outro tipo de selecção pode ainda resultar da "paridade do tempo" ou acertamento entre o "tempo interno" das operações neuronais e o "tempo real" em que evoluem as características dos fenómenos que ocorrem no ME ou MI relevantes para esses processamentos.

Uma outra selecção que deve ser considerada já a este nível depende de um processo que corresponde aproximadamente à Atenção secundária da psicologia introspeccionista. A sua existência a nível fisiológico, é sugerida pelos dados de Grastyán - os resultados de processamentos que ocorrem a níveis mais elevados, no cortex cerebral, podem vir intervir no S. Reticular e no S. Límbico por um mecanismo de reafirmação. Outras demonstrações deste efeito de reafirmação foram dadas, entre outros, por Green, Adey, Bremer, Dell, etc.

É razoável supor que a intervenção destes mecanismos mais elevados, os mecanismos de selecção, facilite os processos (a) que envolvem um conjunto de dados relacionados com um dado contexto que pertence a um nível mais complexo, (b) os dados que possam fornecer informação que torne possível ou facilite a predição da

ocorrência de estímulos futuros (c) os dados que permitam a predição de acções futuras, (d) que contenham informação que leve a uma definição ao nível de processamento a que as decisões mais importantes num dado contexto devem ser tomadas (e) que influenciem a programação de novas estratégias (f) que permitam uma modificação da representação interior do ME.

Os mecanismos de convergência implicados por estes blocos, permitem portanto a selecção (a) devida a necessidades internas, (b) a estados emocionais ou do humor básico, (c) ao estudo do sistema de regulação dos mecanismos vegetativos, que se vêm somar à selecção que é consequência inerente à intensidade de um estímulo, e ainda através de processos mais complexos, de nível cognitivo.

O grupo seguinte de blocos que se encontram, descendo no diagrama, realiza operações em que prossegue o processamento de informação com participação de registos na memória, de situações passadas e das disposições actuais para a acção.

Este último aspecto corresponde à hipótese formulada inicialmente por von Holst e Mittelstaedt e designada de "Cópia Eferente" (Efferenz-Kopie). Ao contrário da reaferecção (feedback), a "Cópia Eferente" não exerce um efeito corrector através de uma informação referente a um desvio de um resultado previsto.

Nesses blocos exerce-se ainda um efeito de reaferecção com participação (1) dos resultados já obtidos e (2) de esquemas de decisão que dependem de níveis mais elevados, onde existe a representação cognitiva do mundo exterior, na acção que está a decorrer.

Através destes mecanismos, a comunicação simbólica, por exemplo a nível verbal, pode regular a acção.

Luria explica os mecanismos de controle voluntário da acção, por uma interiorização destes processos, que inicialmente dependem de uma situação de comunicação interpessoal, e mais tarde podem ocorrer autónomamente.

Os blocos que pertencem a este segundo nível do modelo recebem também, como está assinalado no diagrama, informação proveniente dos operadores que controlam os mecanismos vegetativos, as emoções e a motivação. A motivação intervem tal como ao nível anterior, quer sob a forma de influências que derivam de dados elementares, quer sob a forma de componentes que correspondem aos aspectos cognitivos, às normas e valores e à componente afectiva que lhes está ligada, ou de maneira inata, ou através da educação e de adaptação ao ambiente social, durante várias fases da biografia do sujeito.

Pode admitir-se em relação a esta influência da componente cognitiva dos afectos, que algumas das configurações de estímulos sensoriais, afectos e actos que ocorreram em épocas particulares, especialmente nos primeiros anos, foram armazenadas e servem de modelo a cuja semelhança, embora com uma transformação que depende do contexto actual, se organizam os comportamentos do sujeito adulto. Estes grupos de estratégias que persistiram na memória, ligados a situações em que houve satisfação de mecanismos instintivos básicos, numa situação social determinada seriam equivalentes, embora a um nível de descrição completamente diferente, às relações de objecto analítico admitidas pela psicanálise.

A ser verdadeira esta hipótese, na construção do modelo deveria dar-se uma ponderação preferencial na memória, à informação relacionada com essas experiências primordiais, o que explicaria como a sua correcção por meio de informação colhida em transacções ulteriores seria difícil, mesmo que os resultados dessa acção fossem inadequados.

Na metade direita do diagrama estão localizados os blocos de que depende a execução de decisões e estratégias de acção.

Note-se que, mesmo em relação aos comportamentos considerados no sentido convencional, a informação que lhe concerne pode surgir quer ao próprio quer a um sujeito exterior como tendo significado intencional.

O conhecimento da referência dos sinais do S.N. quer com os objectos do ME e as variações do MI quer com as estruturas relacionadas entre esses sinais nos diferentes sistemas de referência espacio-temporal que já considerámos, permitem uma compreensão da significação psicológica de um certo evento, muito mais

extensa e inclusiva, do que aquela que resultaria das relações de compreensibilidade no sentido de Jaspers³³⁴ e de Kurt Schneider.⁵⁷⁹

Na concepção que temos vindo a expor não só essas relações estão incluídas como ainda se consegue uma compreensão em relação às mensagens do S.N. processadas a nível inconsciente. Este conceito pode ainda ser generalizado às mudanças que resultam das alterações da estrutura orgânica dos operadores e que têm a consequência de provocarem modificações do processamento de informação que são também compreensíveis no sentido em que usamos o conceito de compreensibilidade psicológica.

A adopção deste conceito permitiria unificar os nossos conhecimentos acerca da génese somática e psicológica de estruturas de comportamento tanto normais como patológicas assim como das intervenções terapêuticas através de meios dispareos como a) a cirurgia, b) as drogas psicotrópicas, c) os métodos de terapêutica pela aprendizagem, d) a psicoterapia, e) as situações de transacção social.

Podemos designar os processamentos realizados a este nível e que correspondem à aprendizagem por discernimento (Insight) de Kohler como "prospecções no modelo interior" das possibilidades de acção e dos resultados predizíveis das diferentes decisões e estratégias. Esta prospecção no modelo interior depende necessariamente de uma representação do mundo exterior armazenada na memória e as relações temporais entre os vários eventos representados podem não ter qualquer correspondência com as que teriam se ocorressem na realidade, o que pode explicar a diferença que têm em relação à actividade perceptiva.

Esta prospecção no modelo interior leva a resultados que são ou armazenados a este nível, ou comunicados aos níveis precedentes de integração, onde são usados. O modelo interior inclui uma representação cognitiva como um espaço em que podem ocorrer estratégias de acção, como um espaço de comunicação inter-pessoal e uma representação "desinteressada". O espaço de representação interna do mundo externo pode servir-se do espaço de representação verbal, mas é em parte independente dele.

Os processamentos deste nível surgem imediatamente, (1) quando a transacção entre o organismo e o meio é desde o início não-controlável pelas estruturas de nível inferior, (2) quando os resultados de acção não coincidem com os previstos ou (3) quando o estímulo é novo ou muito intenso. Nestas circunstâncias estas unidades de nível mais elevado processam informação e comunicam os resultados deste processamento aos operadores de diferentes níveis, de que dependem as decisões de acção.

No que se refere à possibilidade de especificar de maneira algorítmica alguns aspectos deste modelo, é necessário supor que em qualquer situação de decisão tudo se passa, no que concerne os aspectos do ME e MI relevantes para a decisão, como se eles se mantivessem constantes durante um certo lapso de tempo. É necessário ainda pôr a hipótese de que para um par qualquer de decisões que surgem como alternativas, existe sempre um critério que permite decidir qual é preferida ou considerá-las como iguais do ponto de vista de preferência.⁵⁰⁹

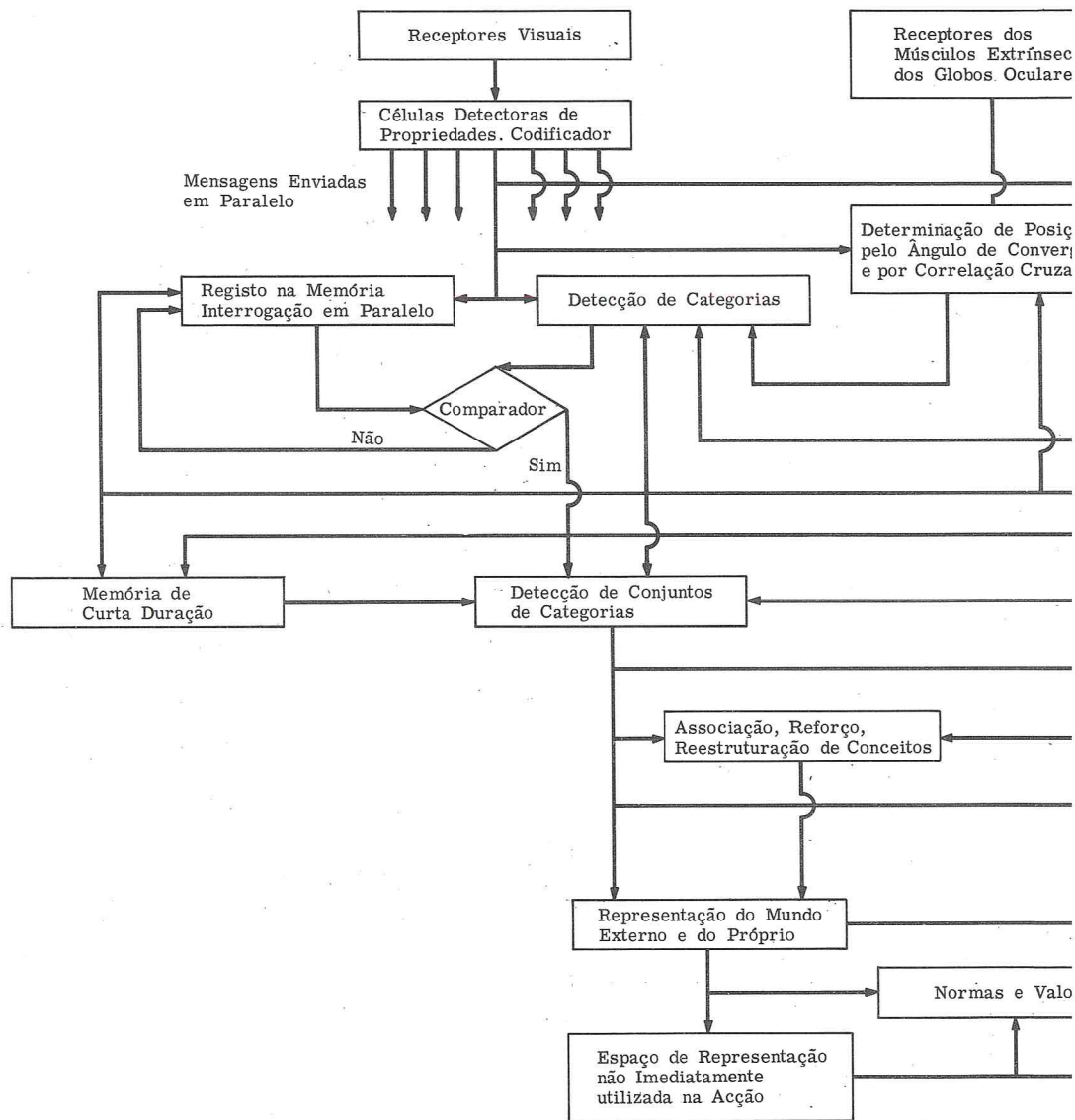
Em situações determinísticas onde existe informação exaustiva as decisões poderiam ser tomadas de acordo com um processo comparável à programação linear, que é possível realizar por meio de uma rede usando os métodos pseudo-Booleanos de programação bivalente.

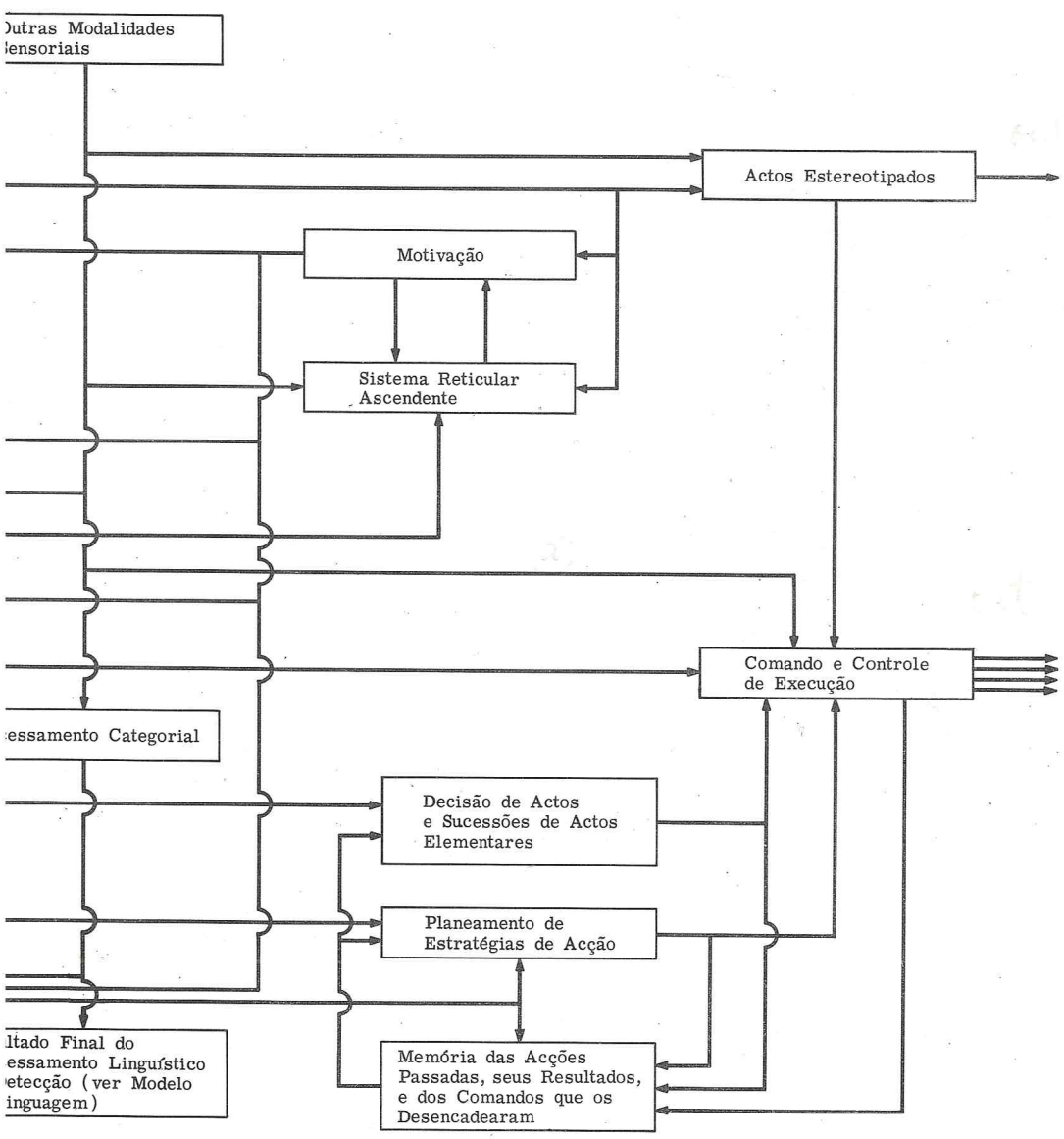
É também possível representar por redes deste tipo os processos de programação dinâmica.

Em relação às situações sobre as quais se tem informação incompleta em que apenas são conhecidas as características do processo aleatório, supõe-se que o modelo tem critérios para ordenar as suas preferências em qualquer decisão possível, de acordo (1) com os ganhos previstos, quer "biológicos" quer "emocionais", ou "normativos", ou (2) como outra possibilidade de acordo com uma utilidade que seja função desses ganhos.⁴³¹

Quando não existe informação acerca das probabilidades de ocorrência dos diversos eventos possíveis pode admitir-se que o modelo adopta uma estratégia cautelosa de tipo minimax.

Em linguagem coloquial, probabilidade, ganho, utilidade,⁸⁶ são palavras que têm um sentido impreciso e denotam estados ou juízos subjectivos. Aplicaríamos aqui os conceitos matemáticos em substituição dessas intuições.





Capítulo XVIII

Linguagem

Vamos descrever alguns resultados de estudos actuais sobre a linguagem, que foram muito influenciados pelos pontos de vista da Cibernética, tanto no aspecto teórico, através da aplicação da Teoria dos Autómatos,¹⁰³ como nos aspectos práticos, pela procura de um método de Tradução Automática^{29,30,31,32} e pelas tentativas de análise e síntese de expressões verbais.¹⁷⁰

Adoptaremos o ponto de vista de Saussure⁵⁷⁴ sobre a distinção entre Linguagem (Langage), tomada como um sistema arbitrário de comunicação verbal e Palavra (Parole) que diz respeito ao modo como as expressões verbais são usadas.

A "Faculdade da Linguagem" (Langage) dirá respeito a uma capacidade provavelmente em grande parte inata, e por outro lado característica da espécie humana, para a partir de uma amostragem limitada de dados de comunicação verbal, construir uma representação da linguagem, que é depois usada tanto na comunicação num grupo social como nos processos cognitivos intra-pessoais.

Depois de referirmos brevemente alguns dados experimentais, procuraremos descrever o ponto de vista das Gramáticas Geradoras, tal como ele é exposto por Chomsky⁹⁸ e Halle.²⁵⁰ Proporemos depois um modelo teórico que não é incompatível, tanto com o ponto de vista de Saussure sobre a linguagem considerada essencialmente como um conjunto de palavras e de propriedades gramaticais, quer com o de Chomsky.

O modelo que proporemos, será baseado (1) no algoritmo que apresentámos em relação ao problema do armazenamento de informação na memória sob forma permanente, e (2) no mecanismo de localização e reencontro de informação por meio do algoritmo de correlação cruzada, realizado numa forma neuronal, que propusemos nos modelos de percepção visual.

Servir-nos-emos apenas dos dados de investigação linguística do ponto de vista das Gramáticas Geradoras, e dos dados de Psicolinguística, em que o uso da linguagem é considerado quer no seu aspecto estático, quer evolutivo.

A utilização dos dados obtidos por correlação anátomo-clínica no estudo da afasia foram recentemente reinterpretados por Geschwind.^{209,210} Apesar do notável progresso que os resultados neurofisiológicos recentes vêm trazer para as perturbações patológicas da linguagem, não é ainda possível fazer a síntese entre o ponto de vista de Geschwind e o das Gramáticas Geradoras de Chomsky, Halle, Yngve⁶⁷⁸ e Harris.^{255,256}

O estudo da linguagem abrange extensas áreas da psicologia, nomeadamente (1) problemas perceptivos ligados ao reconhecimento de formas visuais e acústicas, (2) a aprendizagem de séries formadas por material verbal, (3) o estudo da formação de conceitos e de grande número de processos cognitivos, (4) o estudo das influências da motivação sobre as respostas verbais associativas, (5) a influência do contexto social e da cultura sobre a aprendizagem e as reacções associativas e motoras a estímulos verbais, (6) a importância da estruturação do material verbal do ponto

de vista sintáctico e semântico em relação, entre outros, aos processos de fixação na memória, e de reencontro e rememoração após um intervalo de tempo mais ou menos longo.

Na exposição que se segue, vamos apenas tratar (1) alguns dos problemas psicológicos que têm importância para a compreensão das relações entre a linguagem e os processos cognitivos, (2) os estudos experimentais sobre alguns dos factores que intervêm na percepção das mensagens verbais, e ainda, (3) as motivações para algumas das correntes estruturalistas, em que o retorno a um interesse pelo processo de produção e de reconhecimento das formas verbais, tem importantes consequências para o progresso de conhecimento das funções simbólicas.

DEFINIÇÃO DO CONCEITO DE SIGNO

Antes de iniciarmos a exposição de alguns dados obtidos por métodos empíricos, vamos definir alguns conceitos fundamentais, necessários para o entendimento dos objectivos e das limitações da investigação dos signos que compõem uma linguagem.

Dentro do contexto em que nos vamos colocar, cada signo é considerado como incluído numa relação pentádica Sv, w, x, y, z , que deve ser interpretado da forma seguinte: v estabelece em w a disposição para reagir de um certo modo x , a uma certa espécie de objectos y (que não actuam então como estímulos), em certas condições z .

Os v em que a relação se verifica são os signos; os w , intérpretes; os x interpretantes; os y são significações e os z são os contextos em que o signo ocorre.

Para Charles Morris⁴⁹⁵, a quem se deve a formulação anterior, a significação dos signos é tridimensional e inclui: - (1) a dimensão significativa, (2) a de avaliação e (3) a prescritiva de acção. Essas três dimensões são objectiváveis tomando como paradigma três aspectos das acções humanas: - o perceptivo, o manipulatório e o consumatório.

A primeira dimensão de significação correspondem as propriedades dos objectos ou de um agente do meio externo que são directamente observáveis; A dimensão de avaliação diz respeito aos critérios valorativos explícitos ou implícitos na decisão relativa aos comportamentos que um sujeito pode ter em relação a um certo objecto ou situação a que o signo se refere; A dimensão da significação é prescritiva na medida em que especifica o modo como um sujeito deve reagir a um objecto ou situação de acordo com o impulso que seja dominante. A dimensão prescritiva é assim definida a partir das características de uma conduta que o sujeito terá que realizar devido à ocorrência do signo.

Charles Morris define o interpretante de um signo como uma disposição para reagir de um certo modo devido a esse signo.

No que concerne a dimensão designativa do signo, o interpretante seria uma disposição para reagir ao objecto designado, de acordo com certas propriedades directamente observáveis.

No que se refere à dimensão apreciativa, o interpretante seria uma disposição para reagir ao objecto designado, de acordo com certas propriedades directamente observáveis.

No que se refere à dimensão apreciativa, o interpretante seria uma disposição para actuar em relação a um certo objecto como se a acção tivesse certas características agradáveis ou desagradáveis do ponto de vista afectivo, adequadas ou, pelo contrário, inadequadas do ponto de vista adaptativo.

No que se refere à dimensão prescritiva do signo, ao interpretante corresponderia uma imposição para actuar de um certo modo em relação ao objecto ou situações designadas.

A significação de um signo depende não só do signo mas também do seu interpretante e do contexto em que o signo ocorre, sendo indissociável deles e dos ob-

jectos y.

Na exposição que acabamos de fazer não estão referidas as funções desempenhadas pelos signos lógicos, gramaticais ou estruturais que têm importancia primordial nas expressões compostas por signos verbais usados na comunicação humana.

Charles Morris chama a esses signos "formadores" e faz uma tentativa para lhes atribuir uma quarta dimensão da significação - a significação formativa.

A significação desses formadores pode ser explicada considerando-os como meros "instrumentos auxiliares" que não têm significação em si próprios, mas que influenciam de determinados modos a significação das combinações de signos em que entram.

Uma outra possibilidade consiste em considerá-los como signos meta-linguísticos que significam os signos que os acompanham na expressão em que estejam incluídos. Deste ponto de vista, por exemplo, o "ou" na expressão "P ou Q" deveria ser interpretado como significando o conjunto dos pares de frases em que pelo menos uma das frases é verdadeira.

Os parenteses poderiam ser considerados como designando as expressões que eles envolvem e como prescrevendo a maneira como essas expressões devem ser manipuladas.

Uma outra possibilidade, que não obriga a introduzir uma quarta dimensão para a significação - a dimensão formativa, consistiria em considerar esses formadores não como metalinguísticos mas como estando situados a um nível hierarquicamente mais elevado do que os signos que eles acompanham.

Assim no caso de "P ou Q" o "ou" significa qualquer coisa concernente à situação que é significada pelos outros sinais ou pelas combinações em que eles ocorrem.

RELAÇÕES ENTRE SIGNO E DESIGNADOS

Do ponto de vista empírico é conveniente distinguir diferentes tipos de relações entre Signos e Designados.

Existe, em certos casos, uma relação entre significante e significado tal que, os signos têm características estruturais em comum com aquilo que designam. O paradigma para este tipo de relações é dado por uma planta de uma casa, um organograma, etc. Do ponto de vista linguístico encontram-se relações desse tipo, por exemplo, no sistema de comunicação das abelhas, estudado por K. von Fritsch.¹⁶⁸

No homem encontram-se relações deste tipo entre significante e significado, por exemplo na comunicação gestual e na arte da pantomima.

Charles S. Peirce⁵³¹ designa de "icon" qualquer signo que possua uma característica que o torna significante mesmo que o objecto significado não exista - é o caso, por exemplo, de considerar uma esquina de um lápis como signo de uma linha recta.

Índice é um signo que (1) perde imediatamente o carácter que o torna um signo se o seu objecto desaparecer, e que (2) não perde esse carácter no caso de não haver interpretante. Podemos mencionar como exemplo uma marca deixada pela erosão, um orifício deixado por uma bala, um molde, etc.

Um símbolo seria um signo caracterizado por perder o seu carácter se não houver interpretante.

Com a evolução dos sistemas linguísticos as relações entre significante e significado que inicialmente seriam de tipo icónico e as do tipo dos índices tenderiam a desaparecer, sendo substituídas por relações arbitrárias.

Nas linguagens naturais existe um alfabeto básico formado por sinais gráficos em número limitado ou por um conjunto de sinais acústicos, os fonemas. Por combinações sucessivas, obtêm-se os morfemas e as palavras. A significação só existe a estes dois últimos níveis de organização estrutural. Esta relação entre si-

gnificante e significado que surge apenas a partir do nível morfémico tem carácter arbitrário, como foi acentuado por F. de Saussure.

Esta característica dos signos linguísticos não é, no entanto, completamente geral. Existem efectivamente relações significativas de tipo icónico e simbólico implicadas no uso dos fonemas,⁵⁷² embora as relações entre palavras e designados sejam em geral fixadas por convenção.

As relações entre significantes e significados têm importância primordial para as teorias psicolinguísticas em que se procura estabelecer as leis que regulam o comportamento verbal.

Deve-se a Skinner uma das mais extensas investigações sobre o comportamento verbal e a sua relação com os mecanismos de Aprendizagem. A tese de Skinner, que tem grande importância, na medida em que, a ser verdadeira, permitiria explicar o comportamento verbal através dos processos de condicionamento que já estudámos, é de que os factores mais importantes para a aprendizagem do uso da linguagem são os estímulos e as condições de reforço a que um indivíduo é sujeito.

Deve no entanto fazer-se a reserva de que o processo de condicionamento tem uma estrutura tão elementar que não é adequadamente aplicável aos processos cognitivos do homem que estão ligados ao uso da linguagem.

As teorias da linguagem que se baseiam na psicologia comportamental, tendem a atribuir grande importância ao papel desempenhado na aprendizagem de uma língua (1) pelas palavras que têm um objecto referente, e (2) pelos processos de condicionamento.

Note-se, no entanto, que a classe das palavras-objecto é demasiado restrita, para que esta explicação possa ser válida e, além disso, que as palavras-objecto não são geralmente aprendidas em situações em que se faça a denominação de objectos referentes, que estejam presentes. Na maioria dos casos elas são, pelo contrário, aprendidas em situações verbais muito mais complexas, mesmo que haja uma situação de denominação sobre a qual o reforço actua, controlando assim a aprendizagem de significação. É por isso inadequada qualquer explicação reducionista baseada exclusivamente em mecanismos elementares de reflexos condicionados.

Por outro lado, o problema das ligações entre significativo e significado⁵⁵³ não pode limitar-se à explicação das ligações entre signo e referente que caracterizam as palavras-objecto. Não é possível obter um sistema adequado estudando apenas essas correspondências elementares.

Osgood e outros investigadores^{522,523} puseram em relevo que a linguagem não pode ser reduzida a um simples esquema estímulo-resposta, sendo necessário tomar em consideração um processo central mediador, de que falámos atrás.

Verificou-se a existência de fenómenos de generalização verbal, tendo-se observado que, mediante um processo de aprendizagem, uma resposta reflexa em relação a certas palavras passa a ser produzida por outras palavras que têm semelhança com ela do ponto de vista da significação.

Na medida em que este processo depende da significação, poderia pensar-se que se trata de uma característica exclusiva dos processos linguísticos. No entanto vimos nos capítulos referentes aos processos perceptivos, de aprendizagem, cognitivos e planos de acção que a característica de possuírem significação era uma propriedade comum a todos eles.

Por outro lado, investigações bem controladas mostraram que esses fenómenos de generalização verbal dependem não só da significação como da frequência do uso das palavras e da semelhança dos estímulos em relação às formas correntes da linguagem numa determinada comunidade. Por exemplo, nas experiências taquistoscópicas de Howes e Solomon as palavras de uso mais frequente eram reconhecidas com tempos de exposição mais curtos.

Também Oléron e Danset⁵¹⁹ verificaram que os tempos de reacção a estímulos frequentes eram mais curtos que para as palavras menos frequentes.

(1) Nas teorias ditas mediacionistas admite-se que, quando se estabelece uma ligação condicionada entre uma classe de estímulos e uma resposta, se pode dizer que os estímulos funcionam como sinais (ícones ou índices). Quando, pelo contrário, há um processo mediador entre o estímulo e a resposta, o estímulo funciona co-

o signo com valor simbólico, arbitrário ou não. Os processos cognitivos desempenhariam neste último caso um papel mediador entre a recepção de um signo e a disposição para a acção ou a própria acção que ocorre em consequência desse signo.

Note-se no entanto que a linguagem é aprendida e que a sua aprendizagem e o seu uso dependem, pelo menos em certas circunstâncias, de uma motivação e de um reforço.

Neste sentido Skinner salientou a semelhança entre a aprendizagem da linguagem e a aprendizagem de qualquer actividade motivada, que envolve um processo de selecção dos actos que foram reforçados.

Por outro lado, no que respeita à aquisição da linguagem pela criança, os dados de observação mostram que a criança é capaz de imitar e de reproduzir o uso da linguagem feito pelo adulto, em alguns casos em situações de reforço, mas noutros sem que haja qualquer reforço.

A criança é capaz de usar processos intelectuais muito complexos nessa aquisição. Além disso, a aprendizagem de uma competência linguística, suficiente para a comunicação com os adultos, ocorre de maneira tão rápida que é muito provável que essa competência dependa em grande parte de mecanismos inatos.^{96,400} Durante o processo de maturação do S.N. as estruturas já existentes, ao serem submetidas a uma estimulação adequada, entrariam em funcionamento de um modo tal que a perfeição com que a criança faz uso da linguagem, e a rapidez da sua aquisição, são completamente incompatíveis com uma aprendizagem baseada exclusivamente em factores externos e situações de reforço.

Embora não existam dados empíricos que permitam caracterizar suficientemente o processo de aquisição da linguagem, a capacidade linguística é um processo especificamente humano e que depende não só das peculiaridades da estrutura do S.N. e dos processos cognitivos mais diferenciados próprios do homem, como ainda dos modos de interacção com o meio externo, principalmente no que diz respeito às relações que o indivíduo estabelece com os outros membros do grupo social a que pertence.

É preciso considerar um sistema de correspondência entre as proposições por um lado, e a organização das percepções dos processos cognitivos e das acções por outro. Existe por outro lado um hiato entre a aprendizagem das palavras objecto e uma teoria sobre a aprendizagem do uso da linguagem que fosse baseada nas operações formais estudadas por Piaget.

As actividades verbais têm aspectos em comum com certos hábitos que pertencem ao repertório de acções possíveis para um indivíduo.

É interessante, em conexão com o problema das relações entre palavras e objectos⁶⁰ ou situações, considerar a dependência em relação às palavras da nossa conceptualização dos eventos que ocorrem na transacção com o ambiente que é posta pela hipótese cultural sobre a organização semântica desenvolvida por Whorf.

Para Whorf a linguagem exprimiria a cultura de uma sociedade e impõe aos membros dessa sociedade uma certa maneira de perceber o mundo e de se comportar. Um outro aspecto do problema dos hábitos linguísticos diz respeito aos efeitos que as mensagens exercem sobre os auditores. Como casos simples podemos considerar as ordens e os pedidos que influenciam, controlam ou comandam as acções do sujeito. Este aspecto da linguagem foi extensamente estudado por Luria do ponto de vista experimental.

Do ponto de vista da produção de expressões verbais intervêm não só os processos cognitivos que correspondem a essas formas verbais como ainda regras fonológicas, sintácticas e semânticas, propriamente linguísticas.

Usando a técnica do diferenciador semântico, que consiste na classificação de palavras-estímulo num conjunto de escalas que correspondem cada uma delas a uma certa dimensão de qualificação, como por exemplo - bom-mau, forte-fraco, activo-passivo, etc., Osgood verificou que os tempos de latência de resposta mais curtos estavam combinados com as respostas mais extremas. A significação dessas palavras era geralmente tal que poderia causar, no tipo de cultura em que vivemos, uma dada reacção emocional. Estas interpretações são confirmadas pelo facto de que a administração de choques eléctricos intensos concomitantemente com a situação de

experiência tinha conseqüências semelhantes, nomeadamente uma restrição da variedade de respostas e uma maior incidência de classificação nos extremos.

Howes e Osgood mostraram que se a administração de palavras-estímulo fosse feita num determinado contexto, por exemplo a palavra-estímulo escuro, antecedida de terror, maldade, sinistro - havia um efeito selectivo dessa situação sobre o tipo de respostas que ocorriam.

Sanford⁵⁷¹ usou uma técnica associativa em situações caracterizadas por um estado de fome e Wispe⁵⁷³ em estados de fome e de sede, tendo observado a existência de uma correlação entre as respostas e a motivação dos sujeitos de experiência.

Bousfield e Barry observaram uma correlação entre o estado de humor - alegre ou triste, dos sujeitos de experiência e o tipo de palavras seleccionadas. A técnica usada foi a de obter associações sucessivas dentro de uma mesma situação, o que eventualmente poderá ter feito com que tenham surgido factores contextuais externos, mas também, e à medida que o repertório do sujeito se vai exaurindo, palavras cuja escolha é influenciada pelo estado de humor do sujeito que adquire um papel contextual importante.

E. Walker e Osgood estudaram material verbal que consistia em notas escritas deixadas por suicidas, referentes à situação em que se encontravam, procurando determinar quais eram as características que se relacionavam com esse estado de motivação.

Encontraram uma diferença significativa, que consistia no uso com elevada frequência de termos que exprimiam um conceito extremo - tudo, nada, todas as pessoas, ninguém, sempre, nunca, etc.

Esse estudo de motivação estava correlacionado com o uso de conceitos e juízos extremos que representa ao mesmo tempo uma restrição na gama intermédia de juízos de que esses sujeitos são capazes nessas circunstâncias.

Fica assim provada a importância de outros factores para o uso da linguagem, para além da designação de objectos referentes, ou de relações entre esses objectos que resultam da realização de processos cognitivos ou de processos de aprendizagem mais elementares ou ainda da frequência do uso das palavras na cultura a que o indivíduo pertence.

LINGUAGEM E FORMAÇÃO DE CONCEITOS

Dentre os processos cognitivos tem grande importância no homem a formação de conceitos⁷⁰ que em geral são expressos por meio da linguagem.

Embora a faculdade da linguagem seja exclusiva do homem, deve ser considerada como incluída num processo muito mais geral, que é comum a todos os animais superiores.

As experiências de aprendizagem e de discriminação sensorial mostram que muitos animais podem classificar objectos. Nomeadamente são capazes de dar um mesmo tipo de resposta a qualquer membro de uma certa categoria de estímulos. Além disso os animais superiores são capazes de fazer discriminações entre categorias, isto é, têm comportamentos que implicam um processo de diferenciação que conduz a uma subdivisão das categorias iniciais. As categorias que resultam destes processos podem ser ou mutuamente exclusivas, ou parcialmente sobreponíveis. Daí resulta que coexistem categorias que permitem definir classes de objectos que têm complexas relações entre si. A maior parte dos primatas são capazes de relacionar várias categorias e de responder a relações entre as coisas e não apenas às próprias coisas consideradas isoladamente.

No uso que os seres humanos fazem da linguagem, as palavras designam atributos de categorias não linguísticas, mais exactamente, de conceitos obtidos como resultado de processamentos realizados a nível cognitivo. Nesse sentido uma palavra é um atributo de uma categoria não linguística de modo análogo ao que se pas-

sa em relação aos atributos perceptivos ou ainda dos ligados à actividade pragmática do indivíduo.

A significação referencial das palavras é socialmente determinada. Quando alguém enuncia uma palavra desconhecida, mas bem construída, esse signo indica-nos a existência de um atributo de uma categoria não linguística. A compreensão dessa palavra corresponde à capacidade de identificar, por um processo cognitivo, quais são os eventos ou classes por ela representados. Do mesmo modo, um conjunto de dados perceptivos não linguísticos pode dar origem a processos cognitivos que conduzem à significação que foi transmitida pelos sinais verbais.

Os estudos de Piaget mostram que, do ponto de vista evolutivo, a categorização ou a formação de um conceito abstracto é anterior ao estabelecimento de uma associação entre uma forma verbal e uma dada forma de experiência sensorial, a que o conceito corresponde.

A característica mais importante dos critérios por meio dos quais é especificada a categoria que corresponde a uma dada palavra, é a sua grande diversidade e variabilidade.

Note-se que (1) a facilidade com que o critério para uma dada categorização pode ser modificado e (2) a naturalidade com que compreendemos essas extensões, quando elas nos surgem pela primeira vez, mostram que a operação de categorização é um poderoso meio para a construção da representação interna do mundo e para a organização da parte cognitiva da vida psíquica.

A situação de transacção entre os seres humanos e o ambiente é tão complexa que a sua descrição a partir dos atributos definidos por classes de comportamentos, de emoções, de sentimentos, etc., equivalentes, seria uma tarefa extremamente difícil. O uso da linguagem permite uma descrição mais breve e usando um único sistema de sinais, o que facilita a aquisição e a transmissão da cultura.

Permite além disso uma maior liberdade na construção de conceitos que correspondem a um nível muito elevado de abstracção ou que não têm referente. São disso exemplo palavras como "centauro", ou outras que, como a experiência histórica mostra, podem ser usadas em situações por vezes com grande importância do ponto de vista social.

Os conceitos devem ser entendidos como situando-se a um nível de abstracção mais elevado que os dados perceptivos ou representativos. Uma palavra não é apenas o nome que designa um conceito armazenado na memória, sob uma forma estática, mas sim a designação abreviada para um processo ou conjunto de processos de categorização⁴⁰¹ através dos quais a espécie entra em transacção cognitiva com o ambiente.

Devido a esta natureza dinâmica do processo cognitivo subjacente ao uso da linguagem, os referentes das palavras podem mudar facilmente, sem que, no entanto, as significações deixem de ser entendidas, apesar das categorias se irem modificando. Estes factos permitem compreender como é possível fazer uma tradução, ou encontrar uma igualdade das significações entre duas ou mais linguagens: se as palavras designam modos de cognição, que são idênticos nos indivíduos que falam línguas diferentes, é de esperar que todos os sistemas semânticos tenham pontos em comum do ponto de vista formal. A identidade dos processos cognitivos permitiria encontrar significações equivalentes nas diferentes línguas.

Pelo contrário haverá situações em que cada indivíduo podera ter pensamentos altamente idiossincrásicos ou processos conceptuais peculiares, ou poderá produzir em relação aos mesmos estímulos sensoriais organizações cognitivas diferentes.

Nessas circunstâncias, o seu vocabulário que é muito mais limitado e rígido que a sua capacidade de categorização, pode ir servir para a comunicação dos resultados dos novos processos conceptuais. Os outros membros da comunidade social a que o indivíduo pertence, podem em geral compreender essas expressões, porque, embora as palavras correspondam a conceptualizações novas, existe uma identidade básica nos processos cognitivos dos seres humanos.

A linguagem inclui assim, além de um conjunto de regras gramaticais, os processos de organização da informação referentes às situações de transacção com

o meio. Têm aspectos creativos e produtivos para os quais não é fácil dar uma explicação científica adequada, e que não mereceram a atenção da generalidade dos linguistas e de grande número de psicólogos, apesar de Descartes já ter formulado claramente este problema no Discurso do Método.

O cálculo implícito na actividade cognitiva encontra uma expressão nos hábitos de designação, o que permitirá possivelmente abordar muitos problemas psicológicos e psiquiátricos através do estudo da linguagem e do uso que dela fazem os diferentes indivíduos.

As categorias podem estar relacionadas umas com as outras, de tal modo que a própria relação é assinalada por uma estrutura profunda sintáctica, de que depende a interpretação semântica que exprime esses processos relacionais.

Na linguagem coloquial estas relações são representadas quer (1) pela ordem que as palavras ocupam nas frases, quer (2) pela inserção de morfemas independentes ou não, e que exprimem essas relações ou (3) pela junção a certas palavras, de outros que vêm acrescentar um contexto relacional.

Resumindo, as palavras não estão em geral ligadas a coisas a não ser no caso das palavras objecto. São apenas signos para os processos cognitivos⁶⁵ - indicam o modo como ocorre a organização dos dados obtidos pelo indivíduo na sua transacção com o meio.

Os mecanismos cognitivos básicos subjacentes à semântica, poderão até ser semelhantes aos da sintaxe, embora, em relação a esta última, haja uma condição mais, que os processos devem satisfazer, e que consiste na imposição de as expressões serem gramaticalmente correctas.

Além destas limitações cognitivas e gramaticais, há ainda dois tipos de restrições de que depende o comportamento de designação: (1) a limitação biológica representada pelas características dos processos fisiológicos, que determinam as capacidades cognitivas da espécie e (2) as limitações resultantes da função de comunicação que a actividade de designação serve num dado grupo social.⁵⁹⁸

É provável que sejam inadequados os pontos de vista de Whorf⁶⁶⁰ quanto à impossibilidade de exprimir certos conceitos em algumas linguagens devido à ausência de palavras apropriadas que resulta dos hábitos de designação de uma certa comunidade. Efectivamente, o uso de relações entre palavras permitirá em geral criar expressões equivalentes nas várias linguagens, desde que as categorias não linguísticas sejam idênticas. Essas diferenças de codificação, apesar de não implicarem uma limitação na possibilidade de exprimir conceitos, terão no entanto consequências quanto à acessibilidade das expressões, que será menor quando elas forem mais complexas ou mais longas.

Enquanto a designação é um processo intra-pessoal, a comunicação é, pelo contrário, um fenómeno social. O processo intra-pessoal pode tornar-se social como resultado da grande semelhança entre os processos cognitivos de todos os indivíduos, e ainda pelo facto de haver uma motivação para interagir socialmente que na sua forma verbal é específica do homem.

Por outro lado a linguagem, nomeadamente os dados fonológicos e morfémicos e sintácticos facilitam a aprendizagem nessa situação, na medida em que permitem uma imediata redução do número de categorias não linguísticas que são aplicáveis a cada caso.

ESTUDO EVOLUTIVO DA FORMAÇÃO DE CONCEITOS

Vigotsky⁶⁴⁹ estudou a formação de conceitos, não só de um ponto de vista estático, como ainda do ponto de vista da evolução desse processo no tempo.

Distinguiu três fases na evolução da criança, cada uma delas caracterizada por um tipo de processos análogos àqueles que no adulto dão lugar à formação de conceitos:

- (1) Durante uma primeira fase, os objectos são agrupados pela criança numa

conglomerado sincrético de objectos individuais. Tanto na percepção como nos actos ou no pensamento, a criança tende a incluir os elementos mais diversos numa única imagem, que é mal articulada do ponto de vista dos critérios dos adultos. Esse processo é influenciado por dados acidentais, cujo papel predominante pode ser devido a factores casuais.

Existe, nesta fase, uma incapacidade para apreender adequadamente as relações entre as características dos objectos. A criança estabelece essas relações de maneira quase exclusivamente pessoal e idiossincrásica. Algumas das relações apreendidas a partir de características imediatamente acessíveis do ponto de vista perceptivo, são, no entanto, análogas às do adulto, e permitem por isso a comunicação com o adulto, apesar do carácter predominantemente idiossincrásico desses processos na criança.

(2) Numa segunda fase ocorrem muitas variações de um tipo de pensamento que Vigotsky designa de pensamento "em constelações". Uma constelação caracteriza-se por os objectos individuais serem unidos pela criança, não apenas devido a convicções subjectivas a priori, mas, principalmente, pela apreensão de relações de tipo associativo, que efectivamente existem entre os objectos.

Por outro lado, uma constelação de objectos corresponde a um agrupamento que não é feito exclusivamente a partir dessas associações que correspondem a uma atitude passiva da criança. Pelo contrário, tem grande importância o facto de os objectos serem usados numa dada actividade que a criança esteja a realizar. Vemos, portanto, que este conceito de Vigotsky tem analogias com o de tendência determinante de Ach⁴⁷³ e com as operações concretas de Piaget.

Numa fase ulterior do mesmo estadio do pensamento em constelações, a criança começa a ser capaz de reunir os objectos que formam uma sucessão no tempo. Nesse caso, a significação vai sendo transportada de uns objectos para os seguintes, de tal modo que, os critérios para a formação da constelação irão variando. Este facto é uma consequência do predomínio que têm, nesta fase evolutiva do pensamento em constelações, os dados perceptivos imediatos.

Enquanto no tipo anterior de processos os diversos dados estavam relacionados entre si por um elemento que constituía o núcleo da constelação, o mesmo não acontece neste processo em cadeia em que a constelação não tem um núcleo.

(3) Na passagem do pensamento infantil para o modo de pensar do adulto, surge aquilo que Vigotsky designa de "Pseudo-conceitos". Os Pseudo-conceitos resultam de generalizações que se assemelham às do adulto, mas que, na realidade, correspondem a constelações de dados, de tipo mais primitivo. Efectivamente, na formação de Pseudo-conceitos a criança é exclusivamente guiada pelas semelhanças concretas, limitando-se portanto a usar dados perceptivos.

Os pseudo-conceitos servem como um elo de conexão entre o pensamento em constelações e o pensamento em conceitos. A sua natureza é dual na medida em que uma constelação já contém o núcleo de um conceito.

A transição do pensamento em constelações para o pensamento em conceitos, é facilitada pelo facto de os pseudo-conceitos já coincidirem no seu conteúdo com os conceitos do adulto.

As constelações que correspondem às significações das palavras não são no entanto desenvolvidas espontaneamente pela criança. As linhas através das quais uma constelação se desenvolve, são predeterminadas pela significação que uma palavra já tem na linguagem dos adultos.

Por outro lado, as trocas verbais com o adulto aceleram o desenvolvimento dos conceitos da criança, embora, como demonstrou Piaget, essa acção não possa ir além de um certo limite em cada estadio.

Para Vigotsky, as palavras não seriam signos para os conceitos, mas sim imagens. Ao fazerem corresponder uma palavra a um objecto ou uma situação os seres humanos uniriam esse objecto a um grupo de outros objectos, através das relações linguísticas implicadas por essa designação. Nesse aspecto, o processo do uso creativo da linguagem seria semelhante ao processo da formação de constelações na criança, embora profundamente diferente nas restrições gramaticais, que regulam a

inclusão dessa palavra, quer numa frase, quer em formas verbais ainda mais complexas. Os estudos de Piaget mostraram porém, que as operações cognitivas que o S.N. realiza sobre as representações internas de que as palavras são os signos, têm as suas leis próprias, e, em muitos casos, serão independentes da expressão verbal que a conclusão toma no fim do processo.

No estadio final do desenvolvimento, o processo de abstracção caracterizado pelo agrupamento dos objectos segundo um critério de semelhança imediata, seria substituído pelo agrupamento a partir de um atributo único, que é específico para um dado conceito. Segundo Vigotsky, mesmo depois da evolução destes processos estar concluída, e até no próprio adulto, haveria uma constante oscilação entre o pensamento conceptual e o pensamento concreto e em constelações.

LINGUAGEM E OPERAÇÕES INTELECTUAIS

Como vimos no capítulo anterior, segundo Piaget,⁵⁴⁵ a lógica dos esquemas sensorio-motores e das suas modificações é muito anterior à lógica implícita no uso da linguagem, à lógica das operações formais com proposições. Recordemos, nesse sentido, que os trabalhos de McCulloch e Pitts mostraram que já os próprios processos neurofisiológicos podem ser interpretados como operações lógicas, o que permite explicar que os processos cognitivos possam ocorrer independentemente da linguagem.

Para Piaget as reacções do Período Sensorio-motor podem ser interpretadas como representando operações intelectuais não verbais. As operações concretas são também possíveis antes do aparecimento das operações formais com proposições, e incluem muitas operações lógicas que surgirão mais tarde sob uma forma verbal.

Note-se, no entanto, que embora adopte uma posição que tem analogia com a dos estruturalistas, Piaget não ultrapassa na sua teorização um nível inicial de formalização, relativamente primitivo, e não procura a solução dos problemas que servem de motivação às investigações de Chomsky, Roman Jakobson, Fodor, Katz, Postal, Halle e outros.

No que se refere às relações entre o pensamento e a linguagem, Piaget admite que as principais operações formais existem na linguagem natural, quer sob uma forma sintáctica, quer semântica.

Também as "operações concretas" em que, como já antes dissemos, os objectos são considerados do ponto de vista das classes, relações e números, são possíveis antes da criança ser capaz de realizar operações com proposições. A distinção linguística entre os substantivos e adjectivos corresponderá, segundo Piaget, nas suas linhas gerais, à distinção lógica entre classes e predicados.

No período das operações formais a possibilidade de raciocinar sobre simples hipóteses é controlada a um nível consciente por um processamento que encontra expressão, uma expressão verbal de que o próprio tem conhecimento reflexivo. O cálculo proposicional é então traduzido por sintagmas que são os equivalentes linguísticos para as operações lógicas.

No que concerne as operações proposicionais ou formais, a linguagem inclui as principais: a implicação "se... então...", a definição do "ou" quer inclusiva quer exclusiva "ou... ou...", a negação, a conjunção, a função de Schaeffer "nem... nem...".

Numerosos psicólogos e epistemologistas, tentaram construir teorias em que o conjunto das operações intelectuais, com excepção das imagens visuais e quines-tésicas, eram reduzidas à linguagem. Pertencem a este grupo membros principalmente das escolas Reflexológica e a Escola Behaviorística a que já fizemos referência.

Como objecção em relação a estes pontos de vista, podemos mencionar a existência de processos cognitivos independentes, e em certos casos anteriores ao início do uso da linguagem.

(1) As raízes das operações formais surgem ao nível dos Esquemas Sensorio-motóres, antes do aparecimento da linguagem. Estes Esquemas incluem já as

estruturas de classes e de relações que só vêm a surgir sob forma explícita durante o Período das Operações Concretas.

(2) As noções de conservação e de reversibilidade operatória, existem já no esquema do objecto permanente, na medida em que a localização do objecto é assegurada pela constituição de um "grupo" de deslocações necessárias para o atingir, e que permite a coordenação de desvios nos movimentos necessários (associatividade de grupo) e os retornos a uma posição anterior (reversibilidade).

(3) As relações de ordem e inclusão ocorrem sob forma implícita na "lógica das coordenações de acções".

(4) Entre os 7 e os 12 anos, quer dizer, entre o período pré-conceptual e a constituição das operações proposicionais ou hipotético-dedutivas, que têm íntimas relações com o uso das expressões verbais, observa-se um longo período caracterizado por operações concretas (classes, relações e números) ligados à manipulação dos próprios objectos, independentes da linguagem.

(5) As operações formais de que depende a noção de conservação resultam de uma estruturação progressiva da noção do objecto segundo as suas diferentes qualidades, e em função dos sistemas de operações motoras, realizadas pelo sujeito na sua relação com esse objecto. As formulações verbais teriam um papel secundário nesta estruturação, como mencionaremos adiante.

As noções de conservação, desenvolvem-se com longos intervalos durante a transição do Período das Operações Concretas para o Período das Operações Formais, com relativa independência em relação à expressão verbal. A transmissão verbal não é suficiente para a aquisição da primeira noção de conservação nem para a aquisição subsequente das noções de conservação mais complexas.

Para Piaget, embora a formação do pensamento, enquanto representação conceptual seja, na criança, correlativa da aquisição da linguagem, não se deveria ver na primeira um resultado da segunda. Ambas estão relacionadas com um processo ainda mais geral e que consiste na estruturação e desenvolvimento das funções cognitivas.

A diferenciação entre significativo e significado e a capacidade de evocar, graças a significantes diferenciados, significados que não são directamente percebidos, são duas das características mais importantes das funções cognitivas.

A transição entre as condutas sensorio-motora e as condutas simbólicas ou representativas seria, segundo Piaget, mediada pelos processos de imitação. A imitação prolongada e deferida no tempo, e o processo de interiorização, possivelmente ligado à existência de imagens, permitiu que ocorresse a diferenciação entre significantes e significados. Essa diferenciação exprimir-se-á, não só em relação ao processo cognitivo, mas também ao nível das formas verbais. Os signos verbais e os símbolos lúdicos, gestuais e imagéticos, serão muito mais independentes dos estímulos externos que os processos neuronais subjacentes aos processos perceptivos ou aos esquemas sensorio-motora. Estes últimos serão equivalentes a índices, enquanto que os primeiros serão símbolos, arbitrários ou não.

Piaget verificou que a informação relativa às estruturas operatórias, transmitida por forma verbal, só é "assimilada" até ao nível a que estas estruturas já foram elaboradas por uma evolução feita a partir das acções e das operações. A linguagem favorece a interiorização das acções sob a forma de operações, mas não transmite, já prontas, estas estruturas, por via exclusivamente linguística, como vimos em relação às noções de conservação. A importância do papel exercido pela linguagem na formação das estruturas operatórias, é mais evidente no que concerne as operações formais com proposições, uma vez que a linguagem coloquial inclui exemplos de todas elas.

No entanto, as próprias operações formais têm raízes abaixo da linguagem, nas coordenações das acções.

As grandes estruturas de conjuntos relacionais, que se exprimem por um lado nas operações combinatórias, e por outro num "grupo" de quatro transformações

que coordenam as inversões e as reciprocidades das operações formais, ultrapassam a linguagem, e são até dificilmente formuláveis quando se faz apenas uso da linguagem coloquial não formalizada.⁸⁷

Piaget sugere que ao nível das operações formais ou proposicionais, a linguagem possa actuar mais por uma espécie de educação do pensamento, devido mais às características do processo verbal em si mesmo, do que por uma comunicação directa dessas operações.

L. Apostel²¹ procurou estudar a linguagem a partir da teoria dos Códigos. Serviu-se para isso da parte da teoria que diz respeito aos códigos construídos de modo a combater o ruído, isto é, que têm uma estrutura que permite a pré-correcção dos erros que podem vir a produzir-se entre a codificação e a descodificação. Note-se, no entanto, que a teoria dos códigos de que Apostel se serve não se aplica ao conteúdo ou à significação das mensagens.

Embora interessante, este ponto de vista deixa assim de parte um dos aspectos mais importantes da linguagem - o da significação.

Por último, não deve omitir-se a hipótese de Piaget quanto ao papel formador da linguagem sobre as operações cognitivas. Piaget pensa que esta acção formadora ultrapassa os limites da própria linguagem, e prolonga no terreno das coordenações e acções sociais, o processo equilibrador já operante no domínio da coordenação das acções. Trata-se de um ponto de vista inverso do de Vigotsky e da escola de Lúria que também exporemos de maneira breve.

RELAÇÕES ENTRE A LINGUAGEM E OS ACTOS VOLUNTÁRIOS

Para estudar os movimentos voluntários, que cabem dentro do conceito que usámos anteriormente de "plano de acção", Lúria,^{433,434} Yakovleva, Tikhomirov e outros autores, investigaram o modo como um acto voluntário pode ocorrer em resposta a uma instrução verbal.

A hipótese seria que a actividade voluntária não tem, do ponto de vista evolutivo, a sua origem em esquemas de acção, como propõe Piaget, mas sim, nas relações entre uma criança e um adulto. Sem que possamos aderir a este ponto de vista, vamos descrever alguns resultados obtidos pela escola de Lúria que põem a claro o papel de regulação e de comando, que a actividade verbal tem nas relações sociais.

O ponto de partida para estes estudos é o facto de uma criança ser capaz de realizar tarefas que o adulto lhe descreve verbalmente. Segundo Lúria, o acto voluntário correspondente, virá mais tarde a ocorrer como uma resposta que o indivíduo dá às suas próprias instruções verbais

Vigotsky descreve esta situação como dependendo de uma função que inicialmente se baseia numa relação entre duas pessoas, e que, mais tarde, se torna um método de que um indivíduo considerado isoladamente se serve para organizar a sua actividade. Este ponto de vista parece-nos insustentável, na medida em que, muito antes do aparecimento da expressão verbal, já a criança é capaz de realizar actos intencionais e voluntários.

Do ponto de vista evolutivo observa-se que, embora seja possível obter por instrução verbal uma dada reacção nas crianças a partir do 1º ano de idade, pelo contrário, se a criança já iniciou a realização de uma certa tarefa, uma instrução inibitória é completamente ineficaz.

Em certos casos a instrução verbal actua como um comando desencadeador de acção. Noutros, a instrução verbal provoca uma inibição, como, por exemplo, quando se dá uma instrução para que em face de um dado estímulo, a resposta só deve ocorrer depois de um ulterior comando verbal nesse sentido.

Ivanov - Smolensk interpretou estes dados como significando que, muito antes de ter qualquer efeito explícito, uma instrução verbal dá significação a um estímulo que só vem a ocorrer ulteriormente, e estabelece uma associação entre o estímulo

e uma resposta que não deve ser realizada até ser dado o comando respectivo.

Isso pressupõe uma síntese prévia entre as funções verbais desencadeadora e inibitória, tal que se constitue um sistema regulador, que controla uma acção que só mais tarde vem a ocorrer.

Trata-se portanto de um efeito muito complexo, que é exercida por meio da linguagem quando esta actua como um mecanismo de pré-libertação, que estabelece associações e exerce assim uma função reguladora.

Yakovleva mostrou que este tipo de tarefas é praticamente impossível para as crianças até aos 4 anos de idade.

Nesta fase o comportamento da criança é comandado por mecanismos de activação simples que dependem da linguagem. Pelo contrário, as tentativas para exercer uma acção de controle inibitória através da linguagem, falham durante esta fase.

Yakovleva mostrou que se uma criança receber uma instrução para realizar primeiro um acto e logo em seguida um outro que interrompe o primeiro, ao fim de um certo treino as suas reacções podem ser inibidas por instruções verbais.

A acção organizada que assim se obtém em resposta a duas instruções dadas de "fora", seria o paradigma para a acção inibitória voluntária, que, de acordo com a hipótese de Vigotsky, consistirá em a própria criança realizar essa inibição através dos seus processos verbais.

Uma interpretação possível para os resultados negativos obtidos inicialmente, nas experiências em que era dada uma instrução para a criança interromper um acto no momento em que já estava a executá-lo, seria a de a incapacidade ser devida a uma dificuldade em interpretar as aferências proprioceptivas. Para pôr à prova essa hipótese, Yakovleva modificou a experiência de tal modo que o início da execução do acto dava lugar a um estímulo acústico. Yakovleva verificou que esses estímulos era efectivamente suficiente para produzir a inibição desejada, em crianças de dois a três anos de idade.

Entre os 3 e os 4 anos de idade a criança começa a ser capaz de realizar uma instrução verbal que se requer que só faça um certo acto quando surja um estímulo convencional. Nesta fase a acção inibitória exercida por um estímulo exteroceptivo pode passar a ser obtida através de uma vocalização feita pela própria criança.

A partir dos 3 anos e meio de idade consegue obter-se com regularidade esse tipo de reacção. Antes disso já a criança era capaz de ter reacções verbais ao estímulo, simultaneamente com as reacções motoras, mas essas reacções verbais não davam lugar a um controle eficaz sobre o acto.

Ocorre assim progressivamente a formação de um sistema de auto-regulação que está relacionado com o controle verbal exercido pela própria criança.

Um facto interessante é que se obtém resultados completamente diferentes se a criança empregar expressões equivalentes tais como "um, dois" ou pelo contrário "duas vezes".

Igualmente a criança não é capaz de exercer um controle "verbal" com expressão como "não devo" quando esta expressão inibidora era precedida de uma expressão como "devo". Tikhomirov conclue que o efeito regulador da linguagem não é exercido pela parte significativa da linguagem mas sim por uma acção inespecífica ligada aos impulsos nervosos.

A partir dos 4 ou 4 anos e meio de idade, a criança começa a ser capaz de construir o seu sistema de regulação de maneira completa, comparável à do adulto.

Nas integrações necessárias para que a aquisição de uma dada reacção e a sua inclusão duradoura no sistema de comando e controle mediado pela linguagem, a criança não necessita de um reforço constante. O processo não é anulado nem por um agente inibidor externo, nem por uma pausa ou suspensão de reforço externo.

Isto significa que as regras de aquisição dos nossos comportamentos sofrem uma profunda modificação a partir do momento em que as reacções da criança começam a ser baseadas em informação que é organizada e transmitida sob uma forma verbal. Este facto mostra-nos a importância do novo factor introduzido pela linguagem na organização do comportamento.

Quer dizer, o segundo sistema de sinalização, nas próprias palavras de Pavlov, introduz um novo princípio na actividade nervosa.

O PROCESSO DE DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS MENSAGENS VERBAIS: MODELOS PROBABILÍSTICOS DA LINGUAGEM

Na actividade de recepção de um sinal verbal, além da operação de detecção tem também lugar a sua caracterização e reconhecimento, que dependem de um processo perceptivo extremamente complexo.

Um dos aspectos importantes desta identificação dos sinais é que, apesar dos erros e omissões que ocorrem no uso de uma linguagem natural, quem recebe o sinal frequentemente pode reconhecer correctamente o signo.

Embora os sistemas de transmissão e de processamento de informação, quer exteriores ao indivíduo quer no próprio S. N., possam corromper a informação, torna-se possível reconstituir e reconhecer a mensagem original. Isso deve-se ao facto de os dados serem processados não só tendo em conta as relações entre os constituintes da mensagem como, além disso, o contexto de toda a informação ligada a uma situação actual, acrescida da informação acumulada na memória. Esse processamento é portanto muito mais complexo do que uma simples soma de identificações fonémicas individuais.

Se a mensagem é identificada correctamente apesar dos erros, isso terá que resultar de a situação de transmissão de informação, considerada no seu conjunto, ser redundante. A informação preservada é em certos casos suficiente para especificar com segurança o resto da mensagem. Numa situação menos ideal, a redundância poderá permitir apenas uma correcção, com uma certa probabilidade de que seja adequada.

Nesse sentido foram investigadas laboratorialmente quais eram as probabilidades de uma identificação correcta quando uma porção do sinal era omitida ou transformada.

Esta investigação quantitativa seria importante para determinar em que medida a detecção correcta depende da redundância do sinal, ou pelo contrário dos factores dependentes da aprendizagem ou dos hábitos verbais, ou da estrutura sintáctica.

Investigações deste tipo foram feitas, entre outros, por Shannon,⁵⁹⁰ Miller e Friedman,⁴⁷⁵ Miller e Licklider,⁴⁷⁶ Miller e Selfridge.⁴⁷⁷

Miller e Friedman compararam os resultados obtidos (1) por erro no sentido de transformação da letra que ocupa um lugar por uma outra letra no mesmo lugar; (2) por esse erro, mas assinalando os locais em que isso acontecia; (3) por omissão de letras mas com preservação dos lugares relativos de todos os componentes da mensagem; (4) na omissão de letras acrescida de compressão que conduzia à perda de informação sobre os lugares correspondentes às posições omitidas, e por último (5) por inserção de novas letras na mensagem.

A identificação era por ordem decrescente, em (5) > (3) > (2) > (4) > (1).

Miller e Licklider estudaram os efeitos de executar cortes em textos lidos ou registados, tendo verificado que não só era importante a proporção em que ocorria essa destruição, como ainda o modo como as supressões eram feitas. Se as supressões fossem cada uma delas em porções de sinal de pequenas dimensões, o reconhecimento do texto era melhor preservado que no caso dos cortes serem individualmente de maiores dimensões, ainda que a quantidade total alterada na mensagem fosse igual nos dois casos.

Uma das razões desse facto é a redundância dos próprios sinais — se num texto escrito foram suprimidas letras, o efeito é maior do que se forem suprimidas partes de letras na mesma proporção. Quer dizer, há uma possibilidade de correcção através do contexto ao nível morfémico, verbal e sintáctico em ambos os casos, mas

no primeiro faz-se além disso uso da redundância contida na forma das letras.

Além deste factor de correcção devido à redundância, um outro diz respeito à utilização da significação da mensagem, que permite fazer inferências sobre a parte suprimida.

Estas investigações da linguagem, do ponto de vista de um modelo probabilístico, permitiram obter dados valiosos para a caracterização de alguns parâmetros estatísticos de conjuntos de mensagens verbais, nas condições operacionais definidas pela situação experimental. É fácil, no entanto, mostrar que esse modelo é inadequado, se o que se pretende é esclarecer o processo envolvido quer na produção quer no reconhecimento de formas verbais pelos seres humanos.

Chomsky⁴⁷⁴ mostrou que para um vocabulário constituído por apenas mil palavras, a caracterização das relações entre as palavras incluídas em frases cuja estrutura sintáctica fosse tal que houvesse relações entre duas palavras separadas por 15 palavras, implicaria o conhecimento de 10^{45} parâmetros.

Quer dizer, os parâmetros que exprimem as relações entre os elementos da linguagem de que os seres humanos se servem na comunicação verbal, tornam-se tão numerosos, que é impossível que essa quantidade de informação possa efectivamente ser processada sob essa forma probabilística.

Um outro argumento consiste no facto de que se o processamento fosse feito de acordo com esse modelo, uma criança teria de ser capaz de aprender todos esses valores no decurso de uma infância que dura apenas 10^8 segundos, o que é manifestamente impossível.

Uma alternativa possível é-nos dada pelos modelos de tipo algébrico ou lógicos da sintaxe, de que falaremos adiante.

Esses têm ainda a vantagem de servirem de paradigma para as condições que uma estrutura teórica completa da língua deve satisfazer.

Nesse sentido eles permitem especificar por exemplo, quais são as características que permitem decidir se uma dada teoria linguística é mais ou menos adequada do que uma outra que é posta como alternativa.

Embora esses modelos sejam adequados quando são aplicados a formas verbais correctas, falham pelo contrário, se se aplicam a formas verbais incorrectas. É no entanto de observação corrente, que a linguagem falada não só é em geral sintacticamente incorrecta, contendo rupturas da construção, omissões, etc. como ainda que essas incorrecções não impedem a compreensão da comunicação, embora a possam dificultar, como mostram os dados que mencionámos atrás.

Zipf,⁶⁸⁶ Mendelbrot⁴⁴⁹ e Herdan,²⁷⁸ tentaram explicar certos aspectos do uso da linguagem através de modelos probabilistas, quer de tipo Markoviano, quer de tipo mais complexo, em que se faz uso da estatística de Bose-Einstein.

O modelo Markoviano aplica-se adequadamente ao nível fonémico. — Existe até identidade do ponto de vista formal entre estes modelos e os de Uttley⁶³⁸ e os de Bush e Mosteller⁷⁹ para a aprendizagem. Vimos também que é possível interpretar neste sentido os modelos neuronais, como já vimos nos capítulos referentes ao canal Booleano sem Ruído, ao canal Booleano com Ruído, às modificações das funções de Decisão no tempo e à mudança de convenções.

Na origem destas investigações estão os trabalhos de Shannon ligados ao conceito de quantidade de Informação.

Os dados experimentais, obtidos através do estudo da linguagem de um ponto de vista probabilístico, podem ser classificados em dois tipos, conforme o objecto de estudo forem as ligações sintácticas ou as paradigmáticas.

O estudo das ligações sintácticas foi sobretudo realizado no quadro da Teoria da Informação e de um modelo Markoviano, que não é adequado ao nível léxico, porque as ligações entre as palavras não são aleatórias mas sim determinísticas. Herdan usou pelo contrário modelos baseados na mecânica estatística.

Se se comparam as aproximações da linguagem que se obtêm usando processos Markovianos, tomando em conta as probabilidades de transição correspondentes a ligações de ordem sucessivamente crescente — 1, 2, 3, 4, 5... Shannon verificou que, se depois das ligações de ordem 4 entre letras, se passar a ligações de ordem 1 entre palavras, obtêm-se então uma grande aproximação entre o texto assim produzido

e os textos obtidos por amostragem a partir do uso corrente de língua inglesa.

Por outro lado, Miller e Selfridge demonstraram em 1950, em provas de aprendizagem de listas de 50 palavras, que eram equivalentes os resultados, no que se refere à rapidez de fixação na memória, quando se usava uma aproximação de ordem 5 ou pelo contrário um texto obtido por amostragem da língua natural.

Miller e Selfridge pretendiam esclarecer se os efeitos contextuais de ordem sintáctica que facilitam a memorização, estavam presentes na amostra obtida pelo processo aleatório.

Marks e Jack verificaram que a situação era mais complexa. Usando como índice a aceleração de aprendizagem em relação com um aumento de redundância, a facilitação era maior a partir das ligações de 5ª ordem entre palavras. Existe portanto uma influência efectiva da estrutura sintáctica da linguagem natural no processo de fixação na memória.

Experiências com textos lacunares mostraram que as conjecturas referentes às lacunas contidas no texto, eram tanto mais diversas quanto mais extensa era a classe gramatical a que pertencia a palavra que faltava.

A única excepção, dizia respeito aos adjectivos que são mais difíceis de prever que os substantivos, apesar de pertencerem a uma classe com menor número de elementos.

Os estudos probabilísticos sobre as ligações paradigmáticas foi feito quer através do uso das técnicas de associação, quer de generalização semântica.

Howes²⁹³ demonstrou que as ocorrências das palavras nas respostas associativas, estavam relacionadas as características do uso da linguagem na comunidade social a que pertenciam esses sujeitos de observação, no que dizia respeito à frequência de utilização dessas palavras.

Por outro lado, Saporta,⁵⁷³ ao aplicar um teste de construção de frases a partir das palavras da lista de Kent e Rosanoff, observou que havia uma correlação significativa entre a frequência de ocorrência das palavras como respostas associativas isoladas, e a sua frequência de ocorrência como elementos constitutivos das frases construídas a partir das palavras estímulo. Este facto sugere que além de um factor cultural, as ligações associativas traduzem também relações do tipo sintáctico.

Uma diferença essencial entre os resultados das provas de associação verbal e o uso corrente da linguagem, consiste no facto de as formativas gramaticais só raramente ocorrerem nas respostas associativas, enquanto que são correntes no uso coloquial da linguagem. Howes²⁹⁴ mostrou no entanto que se essas palavras são usadas como estímulo, obtêm-se então respostas associativas constituídas por formativas gramaticais com uma frequência muito maior do que nas experiências clássicas.

Nas experiências que temos vindo a mencionar, o facto de as respostas surgirem ligadas aos estímulos de maneira predominantemente paradigmática deve-se a não se usarem como estímulo estruturas sintácticas que incluam as palavras estímulo.

Igualmente têm relevância para este tipo de estudos, as investigações sobre a generalização de uma resposta condicionada - generalização semântica - feitas por Razran^{557,558} e outros investigadores da escola reflexológica.

Deve-se a Osgood^{522,524} a invenção da técnica do "diferenciador semântico" em que uma palavra é classificada dentro de uma série de escalas bipolares, de acordo com o juízo dos sujeitos de experiência.

As respostas obtidas no diferenciador semântico têm uma elevada correlação com as obtidas nas provas vulgares de associações, traduzindo portanto uma relação entre os dois signos verbais. Osgood rejeita esta interpretação. Para ele a diferenciação semântica traduz não só uma relação signo-signo, como também uma relação signo-referente.

É no entanto pouco provável, dado o carácter extremamente elementar desta prova, que se possa esclarecer através dela o sistema de relações que constitui a significação.

GRAMÁTICAS GERADORAS - DESCARTES E A ESCOLA DE PORT-ROYAL

Vamos fazer uma breve referência às relações entre as teorias estruturais da linguagem e os modelos cibernéticos do S.N.. Esta linha de investigação está ligada, no aspecto prático, às tentativas de realizar a "tradução automática" de uma língua para outra. As implicações teóricas são no entanto muito mais profundas e permitem reconsiderar os problemas estudados na investigação empírica que mencionamos. Os resultados teóricos que vamos descrever embora correspondam a uma tentativa muito recente e ainda incompleta, permitem uma nova compreensão desses problemas. É interessante notar que os estudos actuais tiveram os seus precursores nos de Descartes e na Gramática de Port-Royal, que são invocados por Chomsky na sua investigação das raízes históricas do ponto de vista estruturalista, no estudo da linguagem.

Para Descartes, o comportamento animal poderia ser explicado a partir do conhecimento do funcionamento do S.N., considerado como um autómato. No caso do homem a situação seria diferente, uma vez que a capacidade creadora e de invenção dos seres humanos, não poderia ser explicada por meio de analogias com o funcionamento dos autómatos que existiam nessa época.

Esta diferença essencial entre o homem e os outros animais, manifestar-se-ia na capacidade do uso da linguagem, que não dependeria exclusivamente quer do nível de inteligência quer das características do aparelho fonador.

Descartes considerou que a faculdade da linguagem ultrapassa as limitações de qualquer mecanismo imaginável e pressupõe a existência de um "princípio creador" que existiria lado a lado com um "princípio mecânico".

A competência linguística seria uma capacidade creadora no sentido de que (1) não há uma associação estrita entre estímulos do meio externo e as expressões verbais que lhe correspondem e (2) é possível aos seres humanos a compreensão de expressões que ouvem pela primeira vez, ou a construção de frases novas, de maneira adequada, no contexto de uma dada situação, o que implica a existência de uma capacidade de expressão potencialmente infinita, embora servida por um vocabulário finito.

A linguagem humana, aparentemente liberta do controle exercido por estímulos externos ou por estados fisiológicos, poderia então servir como um instrumento universal de pensamento e de auto-expressão, e não apenas para a comunicação.

A linguística Cartesiana¹⁰⁰ estabelece uma distinção entre dois aspectos de linguagem - (1) os sons que a constituem ou os caracteres que representam esses sons e (2) a significação, isto é, o modo como eles são usados para significar os pensamentos.

Desse ponto de vista uma frase pode sempre ser estudada quer como exprimindo um pensamento, quer como uma configuração de eventos físicos. São assim possíveis, um ponto de vista que corresponde a uma interpretação semântica e um outro a que corresponde uma interpretação fonética.

Usando as designações correntes na linguística estrutural actual, pode distinguir-se uma "estrutura profunda" e a "estrutura de superfície" que lhe corresponde. A primeira é a estrutura abstracta subjacente a uma expressão verbal e que determina a sua interpretação semântica, a última a estrutura de superfície, que determina a sua interpretação fonética.

Uma conclusão fundamental da linguística Cartesiana é que a estrutura profunda e a estrutura de superfície não são necessariamente idênticas, isto é, a estrutura subjacente a uma frase e que é relevante para a sua interpretação semântica, não se exprime necessariamente na configuração dos componentes físicos presentes. Em geral, a interpretação semântica será quase completamente independente da interpretação fonética, ou melhor, fonológica.

A teoria da estrutura profunda e de superfície, tal como foi desenvolvido pelos estudos de linguística de Port-Royal, inclui operações recursivas que permi-

tem um uso infinito dos meios finitos. Isso satisfaz uma das condições básicas para que uma teoria da linguagem seja considerada como adequada.

Uma crítica que se fez frequentemente à gramática filosófica de Port-Royal, é a de um excessivo racionalismo e apriorismo, e de inadequada consideração dos factos linguísticos. Uma crítica mais válida, segundo Chomsky, será a de que as limitações deste trabalho resultam, pelo contrário, de ele ser insuficiente do ponto de vista da interpretação teórica.

Uma das hipóteses fundamentais da linguística Cartesiana, é de que em geral, as características da estrutura gramatical são comuns a todas as linguagens e refletem certas características dos processos psíquicos idênticas em todos os seres humanos.

O estudo das condições universais de que depende a forma de qualquer linguagem humana, é feito pela "gramática geral". Essas condições universais não são aprendidas. Devem pelo contrário, ser consideradas como princípios organizadores que presidem à aprendizagem da linguagem e a tornam possível.

Nas teorias estruturais actuais, a aquisição da linguagem é explicada, por um lado, por um processo de maturação, do S.N., e por outro, pela ocorrência de circunstâncias externas que permitam a aquisição de comportamentos verbais adequados, por um processo de imitação e pela criação de condições adequadas para que os sistemas já organizados entrem em funcionamento ao serem solicitados, numa situação de interacção social.

Admite-se actualmente que existe um sistema gerador único, com papel fundamental quer na produção da linguagem, uma vez que é só em termos destas regras fixas que os elementos da expressão verbal e as suas relações são definidos, quer na percepção de formas verbais em que intervêm produzindo sucessões de sinais que são comparados com os recebidos do exterior. A percepção da linguagem tal como foi proposta por Halle, requer uma análise do sinal em termos das estruturas subjacentes de que depende também a produção de expressões verbais.

Mesmo no caso da percepção de uma simples palavra, pode ser activado um sistema de regras geradoras. Um signo acústico que é recebido do exterior faz com que o S.N. gere uma forma verbal correspondente que lhe é depois comparada.

A percepção da linguagem é no entanto ainda mais complexa, na medida em que requer a produção interna não só de uma representação do sinal, como ainda do conteúdo semântico que lhe está associado e portanto também da estrutura sintáctica.

Do ponto de vista histórico têm também importância como percursos da linguística estrutural actual, os de von Humboldt.

Para Humboldt, a única definição adequada para a linguagem é a de um "Trabalho do Espírito" que faria com que os sons articulados fossem adequados para a expressão dos pensamentos. Haveria um factor que von Humboldt designa de "Forma" da linguagem e que estaria subjacente a este "Trabalho do Espírito".

Em vez de considerar o conjunto das palavras como constituindo um léxico de que elas vão sendo sucessivamente extraídas, à medida que se faz o uso da linguagem, von Humboldt, tal como actualmente o faz Chomsky, propôs a hipótese de que existem certos princípios geradores organizadores que produzem as palavras adequadas a cada situação.

Para von Humboldt a descrição de uma linguagem terá sempre que incluir uma referenciação desses elementos a um conjunto de princípios geradores que determinam (1) os elementos linguísticos individuais, (2) as suas inter-relações. Estes princípios geradores estão subjacentes à infinita variedade de actos linguísticos que podem ser realizados a partir de um conjunto finito de signos. Este conjunto de regras geradoras constituiria uma "forma orgânica", no sentido de ser inata e de o seu desenvolvimento ocorrer segundo regras que dependem e são especificadas pela sua própria estrutura.

Von Humboldt estuda além disso as transformações que a linguagem sofre ao longo do tempo, no modo como é usada, mas sem que haja alteração da sua estrutura sintáctica. Em consequência dessa modificação vai aumentando o âmbito dos fenómenos que uma língua pode exprimir, sem que no entanto haja modificação da sua

estrutura gramatical. Embora as linguagens tenham propriedades universais que são atribuíveis a uma identidade dos processos psíquicos, a cada linguagem estaria ligado um "universo de pensamento" ou "um ponto de vista" em relação à realidade.

Ao atribuir este papel às linguagens individuais, Von Humboldt⁶⁵ afasta-se do esquema da linguística Cartesiana, aproximando-se do ponto de vista modernamente defendido por Whorf.

Tanto as reflexões de Descartes como os estudos da escola de Port-Royal e Von Humboldt mostram que o estudo da linguagem não pode ser reduzido a uma simples compilação de dados de observação. Na linguística, como em qualquer outra disciplina, é necessário encontrar um sistema que permita a explicação dos dados observados e das suas inter-relações, para que se possa dizer que os conhecimentos já adquiridos constituem efectivamente uma ciência.

É à escola estruturalista que se deve um notável esforço, tanto no que diz respeito à estrutura dos processos fonológicos, como dos sintático e dos semânticos, e ainda a investigação das condições que uma teoria geral da linguagem deve satisfazer.

A linha de investigação desses autores não tem, no entanto, realizado progressos comparáveis no que diz respeito a dois problemas fundamentais para a compreensão da linguagem, nomeadamente (1) o esclarecimento do processo perceptivo de detecção e reconhecimento de formas verbais e (2) os mecanismos de retenção e reencontro na memória dos dados necessários para produzir ou entender qualquer expressão verbal.

CARACTERIZAÇÃO DA LINGUAGEM E TEORIA ALGÉBRICA DA LINGUAGEM SEGUNDO NOAM CHOMSKY

A teoria de Chomsky^{97,99,101,102} integra os resultados de Roman Jakobson e de Morris Halle sobre a categorização dos fonemas por meio de um conjunto de características distintas e os de Katz e Fodor³⁵⁹, e de Katz e Postal³⁶⁰ sobre a interpretação semântica.

Afasta-se por outro lado das correntes de linguística descritiva cujo principal objectivo tem sido o (1) definir rigorosamente as noções de Fonema, Morfema e de Constituinte Imediato. (2) prescrever um método rigoroso de identificação dessas componentes das estruturas verbais, (3) construir um sistema universal de representação dos fonemas. Nesse ponto de vista mantem-se uma estrita separação entre os vários níveis da linguagem, ao contrário daquilo que se passa na teoria de Chomsky.

Embora seja efectivamente necessário estabelecer o tratamento científico da linguagem numa base experimental sólida, a verdade é que os sistemas que têm sido propostos por essa corrente, não ultrapassam o nível de um inventário, sem poder predictivo ou explicativo no que se refere às estruturas gramaticais subjacentes às frases ou às expressões ainda mais complexas usadas na expressão verbal.

Não permitem por outro lado formular de maneira adequada o processo de produção das expressões verbais, a natureza da competência linguística dos seres humanos e o uso creador da linguagem.

São estes os problemas mais importantes para o ponto de vista da interpretação cibernética dos processos da linguagem.

Talvez devido à existência destas teorias ser muito recente, têm sido usadas para a caracterização de muitas perturbações patológicas da linguagem, nomeadamente no que se refere à Afasia, as formulações ligadas às correntes descritivas ou aos modelos probabilísticos, mesmo quando esses estudos foram feitos por investigadores tão competentes como R. Jakobson³²², Howes ou Geschwind.

A investigação médica das perturbações da linguagem tem sido prejudicada pelo desconhecimento das gramáticas geradoras e ainda pelo uso quase exclusivo, com raras excepções, como por exemplo Luria, dos conceitos das gramáticas normativas.

Os tipos tradicionais de gramática são inadequadas porque não permitem uma especificação efectiva das regras que as expressões verbais devem satisfazer.

Nessas gramáticas, a aplicação das regras depende de uma intuição que não é formalizada de maneira completa e rigorosa. Daí resulta que a parte mais importante dos princípios geradores das expressões verbais, escapa à formulação. Esse facto faz com que a partir dessas gramáticas só seja possível a caracterização de alguns aspectos das perturbações patológicas da linguagem, sem que os problemas sejam formulados por forma a que se possa obter informação relevante para o conhecimento dos processos psico-linguísticos postulados pelas gramáticas estruturais.

As reflexões de que Chomsky parte têm pontos em comum com as de Descartes no Discurso do Método: uma pessoa que fala a linguagem do seu país tem a capacidade de compreender um número extraordinariamente elevado de frases que nunca ouviu antes, e por outro lado é capaz de produzir em certas ocasiões, expressões novas e que são compreensíveis para as pessoas que têm um conhecimento satisfatório da linguagem que lhes é comum.

As perguntas que orientam a investigação de Chomsky são:

(1) em que consiste exactamente esta capacidade, (2) de que modo é usada, (3) como surge no indivíduo.

A primeira pergunta conduz à formulação de uma "Gramática Universal", comum a todas as línguas.

Em relação ao segundo problema deve ter-se presente a distinção entre o facto de uma gramática se aplicar efectivamente a uma dada linguagem natural, e o facto, completamente diferente, de as pessoas que usam essa linguagem serem ou não capazes de seguirem consistentemente essas regras.

Tanto a primeira como a segunda pergunta têm implicações psicológicas e neurofisiológicas importantes. No entanto, as respostas que Chomsky lhes dá, divergem de maneira fundamental dos pontos de vista da psicologia comportamental e reflexológica de que já fizemos uma breve menção.

Em relação ao terceiro problema, não é ainda possível fundamentar suficientemente em dados empíricos a hipótese que Chomsky formula, em termos muito gerais, a partir de considerações teóricas.

O estudo da linguística feito por Chomsky e os modelos matemáticos que lhes correspondem, dizem respeito às linguagens naturais. Deve no entanto ter-se presente que existem muitas linguagens formais criadas por lógicos e matemáticos, cujo estudo pertence mais à lógica do que à linguística, não lhes sendo aplicável o mesmo tipo de explicação teórica.

Uma outra limitação do ponto de vista de Chomsky, resulta dos sinais contínuos serem discretizados, só sendo considerado como objecto da teorização o conjunto de sinais discretos assim obtidos. Nomeadamente, a posição de Chomsky é de que a linguagem tal como outros sistemas de sinais usados na comunicação, pode ser tratada como se fosse constituída por um conjunto de sinais discretos, especificados a partir dos sinais contínuos tomando em conta um "critério de fidelidade".

Este método permite determinar como é que o conjunto de todos os sinais possíveis durante um intervalo finito de tempo pode ser segmentado em subconjuntos de sinais que são indistinguíveis do ponto de vista de quem os recebe, para um certo "critério de fidelidade".

O uso de uma aproximação discreta, faz sentido, na medida em que na comunicação verbal tal como ela efectivamente ocorre, nem sequer se usam todas as distinções que um ser humano é capaz de fazer.

O critério de fidelidade é estabelecido para os seres humanos, tomando em conta a sua capacidade, treino e interesse, e principalmente, os dados empíricos fonológicos.

Com base nas distinções perceptivas podemos definir um conjunto de sinais discretos.

Conjuntos desse tipo podem ser alfabetos, silabários ou vocabulários; os elementos discretos desses conjuntos, são os dados indivisíveis a partir dos quais as mensagens mais longas são construídas.

Dentre os sistemas discretos possíveis, Chomsky limita-se a examinar os sistemas de concatenação.

Chomsky vai mostrar que esses sistemas gozam das propriedades que definem as estruturas algébricas designadas de Semi-Grupos.

O fluxo da linguagem é considerado como uma sucessão linear de elementos x, y, \dots que estão imediatamente juxtapostos ou concatenados uns após os outros.

Definição 1: L é o conjunto de todas as sucessões finitas, incluindo a sucessão de comprimento zero, que podem ser formadas a partir de um conjunto finito arbitrário V de elementos.

Definição 2: Se dois elementos forem tais que se $x \in V$ e $y \in V$, $\widehat{xy} = z$ representa o resultado de os concatenar nessa ordem, para formar uma nova sucessão z .

Axioma I: L é fechado sob a operação binária da concatenação, isto é, se $x \in V$ e $y \in V$, então também $\widehat{xy} = z$ pertence a V .

Axioma II: A concatenação é associativa: $\widehat{\widehat{xy}z} = (\widehat{xy})\widehat{z} = \widehat{x(\widehat{yz})}$.

Axioma III: A sucessão vazia desempenha o papel de um elemento neutro único.

Um conjunto $\widehat{x0} = x$ sobre o qual se define uma operação, que é fechado com respeito a essa operação e satisfaz uma lei associativa de composição e que inclui um neutro, é designado de Monóide ou Semi-Grupo com elemento neutro.

Os linguistas consideram geralmente que uma linguagem natural tem vários níveis. Nos seus trabalhos. Chomsky trata cada um desses níveis como um sistema de concatenação separado, com os seus próprios elementos e regras.

A gramática de uma linguagem é definida por Chomsky¹⁰² como um sistema de regras, que determinam um conjunto de pares, formados por associação entre sons e significações. A gramática contém uma componente fonológica, uma componente semântica e uma componente sintáctica.

A componente sintáctica define uma certa classe de objectos abstractos (P, S) em que P é uma estrutura profunda e S uma estrutura de superfície.

A informação relevante para a interpretação semântica e para a interpretação fonética, está contida respectivamente na estrutura profunda e de superfície.

A interpretação semântica das estruturas profundas e a interpretação fonética das estruturas de superfície, são realizadas pela componente semântica e pela componente fonológica, respectivamente.

As relações entre as interpretações fonética e semântica são especificadas pela gramática por meio de regras transformativas da componente sintáctica, tais que, para cada estrutura profunda existe uma certa estrutura de superfície que lhe corresponde.

Estas definições, estabelecidas desta forma intuitiva, foram tratadas rigorosamente por Chomsky e têm importância fundamental para a psicolinguística tomada quer no sentido experimental quer do ponto de vista cibernético.

A investigação de Chomsky visa a criar uma Gramática Universal, no sentido de que procura especificar qual é o conjunto das condições que têm de ser satisfeitas pelas gramáticas de todas as linguagens. A fonética e a semântica universais farão parte da gramática universal. Deve no entanto pôr-se a reserva de que esta designação corresponde mais a um programa de estudo do que um conjunto de conhecimentos já bem estabelecidos, apesar dos esforços dos investigadores como Saporta,⁵⁷³ Greenberg,^{227,228} Weinreich,⁶⁵⁵ Ullmann⁶³⁵ ou Jakobson.³²⁰

Estrutura da Componente Fonológica

Podemos considerar uma representação fonológica, como uma sucessão de símbolos do alfabeto fonético universal, em que cada símbolo é constituído por um

conjunto de características distintivas, cada uma com valores específicos. Segundo Roman Jakobson haveria doze pares de características distintivas.^{319,324}

De maneira rigorosa, podemos definir uma representação fonológica como uma matriz em que as linhas correspondem a características distintivas do sistema universal e as colunas correspondem a segmentos sucessivos do sinal verbal (símbolos do alfabeto fonético). Este é o formalismo que representa o conceito de Fô-nema, definido como um conjunto de características distintivas.

A teoria da componente fonológica, especifica (1) que informação está contida na estrutura de superfície e (2) como é que as regras da componente fonológica da gramática usam essa informação para que seja especificada a matriz fonética.

Uma frase pode ser considerada como correspondendo a uma sucessão de componentes formativas e de "junções" entre elas.

As junções especificam o modo como são combinadas as formativas. Essa informação é relevante para as regras de interpretação da componente fonológica.

Uma "junção" é definida por matriz coluna em que as entradas correspondem a características do sistema juncional. Cada entrada tem um de dois valores, que podemos representar como + ou -, ou 1 e 0.

Igualmente cada formativa pode ser definida por uma matriz em que as colunas correspondem a segmentos sucessivos que pertencem ao alfabeto fonético internacional e as linhas a características distintivas. Cada entrada tem também um de dois valores, ou + ou -, 1 ou 0, e o mesmo é verdade em relação a uma frase considerada no seu conjunto.

A estrutura de superfície é portanto representada por uma matriz na qual um dos dois valores mencionados aparece em cada entrada. O facto de que apenas são permitidos dois valores, indica que esta matriz básica serve apenas uma função de classificação. Este ponto de vista no estudo da componente fonológica, deve-se fundamentalmente a R. Jakobson,^{321,323,325} e à sua integração com as gramáticas geradoras a Halle e a Chomsky. Cada frase é classificada de maneira tal que (1) a distinga de todas as outras frases da mesma dimensão e (2) que especifica como é que as regras da componente fonológica estabelecem valores posicionais fonéticos específicos.

Por outro lado as características distintivas têm uma função fonética na matriz que constitui a representação fonética da frase de que seja questão.

A matriz básica não exaure a informação necessária para as regras interpretativas fonológicas. É necessário saber além disso como é que uma dada frase se subdivide em frases de tamanho variável e que tipos de frases resultam dessa divisão.

A informação relevante neste sentido é representada formalmente por um sistema de parêntesis a que estão associados os índices que forem convenientes e que indicam se uma certa componente é um verbo, um substantivo, uma frase verbal, uma frase - substantivo, etc.

Estrutura de superfície de uma frase será então uma construção com parêntesis devidamente indexados, feita a partir de uma matriz de classificação de formativas e junções.

As regras da componente fonológica especificarão o modo como essa estrutura de superfície se transforma numa representação fonética.

Chomsky sugere que as regras da componente fonológica estão ordenadas numa sucessão R_1, R_2, \dots, R_n , e que esta sucessão de regras se aplica de maneira cíclica a uma estrutura de superfície, do modo seguinte: no primeiro ciclo de aplicação as regras R_1, R_2, \dots, R_n são aplicadas nessa ordem à parte da estrutura de superfície que seja mais longa e que não contenha parêntesis no seu interior. Depois da última regra ter sido aplicada, os parêntesis que limitam essa parte são apagados e inicia-se o segundo ciclo de aplicação. Este processo prossegue até ser aplicado a toda a frase. Chomsky descreve além disso duas regras para especificar a acentuação das vogais que podem ser aplicadas de maneira automática.

Em princípio, seria fácil realizar um autómato que, dadas as regras de acentuação das vogais de uma frase, dadas as regras de sintaxe e o programa para o ciclo de transformações, poderia especificar o contorno de acentuações das vogais de

uma frase qualquer. Como para qualquer autómato existe sempre uma rede neuronal que lhe é equivalente, é possível portanto explicar esta parte dos processos de linguagem apenas em termos de funcionamento de neurónios.

Esse autómato usaria, segundo Chomsky, as regras da sintaxe para determinar a estrutura de superfície de uma frase. Aplicaria depois as regras de acentuação de acordo com o ciclo de transformações programado, de modo a especificar um contorno de acentuações, com múltiplos níveis.

Chomsky usa este autómato também como paradigma para o modelo de percepção da linguagem. Devem notar-se as analogias com os mecanismos cuja existência em relação à percepção da cor é sugerida pelas experiências de Land. O ouvinte usaria um conjunto de propriedades seleccionadas do sinal físico para determinar que frase da linguagem foi produzida e para lhe atribuir uma estrutura profunda e de superfície. Seria então capaz de "ouvir" o contorno da acentuação especificado pela componente fonológica da sua gramática, quer ela corresponda quer não, a qualquer propriedade física do sinal processado. Não devemos esquecer-nos que um Fonnema é uma forma invariante mesmo que seja expresso por diferentes realizações fonéticas, os alofones.

A hipótese de Chomsky para a percepção da linguagem pressupõe que a interpretação sintáctica de uma frase pode ser condição prévia para que possa ouvir a sua representação fonológica em detalhe. Esta hipótese é contrária à alternativa que consistiria na suposição de que (1) a percepção da linguagem necessita de uma análise completa da forma fonética seguida por uma análise completa da estrutura sintáctica, assim como é contrária à hipótese de que (2) a forma fonética recebida é uma representação fiel, ponto por ponto, do sinal físico recebido do exterior.

No entanto, existem pelo menos dois problemas delicados na formulação de Chomsky. O primeiro diz respeito ao problema da programação e da aquisição das regras de operação, por parte do autómato capaz de ter percepções de formas da linguagem. Chomsky resolve este problema em relação ao homem, admitindo que esses processamentos não são aprendidos, mas que, pelo contrário fazem parte do equipamento conceptual de que um indivíduo já está provido antes de iniciar a aquisição da linguagem.

Não há efectivamente razões mais fortes para supor que estes princípios são aprendidos do que para supor que se aprende a interpretar um estímulo visual em termos de linhas ou ângulos que, como vimos nas experiências de Hubel e Wiesel, dependiam de uma estrutura inata do S.N. A verdade porém, é que a proposta de Chomsky não contém qualquer sugestão quanto ao modo como ocorre a aprendizagem da linguagem.

O segundo problema diz respeito à importância das propriedades das estruturas gramaticais consideradas na formulação de Chomsky.

Não só estas estruturas são adequadas apenas em relação às linguagens não contextuais, o que não é o caso da linguagem humana, como ainda pode provar-se que é impossível formalizar uma teoria das linguagens contextuais a não ser que se imponha um certo número de restrições.

Estrutura da Componente Sintáctica

A "Componente Sintáctica" de uma linguagem gera, como dissemos, pares (P, S) em que P é uma estrutura profunda e S uma estrutura de superfície.

Já nos referimos à estrutura de superfície. A estrutura profunda P é um sistema de parêntesis e índices, que determinam um certo conjunto de funções gramaticais e de relações gramaticais entre os elementos e grupos de elementos de que é composta.

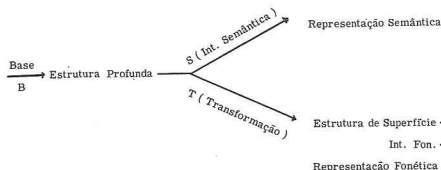
A componente sintáctica contém regras ou esquemas em número finito, mas organizadas de tal modo que, a partir delas pode ser gerado um número infinito de pares (P, S). A cada um desses pares corresponde uma frase que é interpretada tanto foneticamente como semanticamente.

Segundo Chomsky a componente sintáctica é constituída por regras que ge-

ram estruturas profundas, e por regras que especificam as estruturas de superfície que lhes correspondem.

Estes dois tipos de regras de sintaxe são designadas por Chomsky respectivamente de "Componente de Base" e "Componente Transformativa".

A componente de base é subdividida em duas partes – o "Sistema Léxico" e o "Sistema Categrial".



A correspondência S é transportada pela "Componente Semântica"; T pela componente transformativa e F pela "Componente Fonológica".

A operação B produz a estrutura profunda a partir do sistema base de um modo que é especificado pelo léxico e pelo sistema categorial.

I – O léxico é definido como um conjunto de entradas léxicas, cada uma das quais é constituída por um conjunto de características entre as quais se incluem as características fonológicas e as características semânticas.

As características fonológicas têm um índice que marca a sua posição, e constituem, como já dissemos, uma matriz de características distintivas em que as entradas podem assumir um de dois valores + ou -, ou 1 ou 0.

As características semânticas são especificadas através de uma definição de "dicionário". As entradas desse dicionário podem ainda especificar as conexões entre elas, que são designadas de "características do campo". Podem também incluir características sintáticas, que especificam as posições em que pode aparecer essa entrada léxica, e as regras aplicáveis à estrutura que ela contém. A componente transformativa produz estruturas de superfície a partir das estruturas profundas e as entradas especificam as regras que lhes podem ser aplicadas ao fazer-se essa transformação. Em geral, a entrada léxica contém também toda a informação referente a um elemento léxico que não possa ser especificado a partir da aplicação de regras gerais.

O léxico diz essencialmente respeito a todas as propriedades idiossincrásicas ou peculiares de cada elemento léxico. A componente categorial da base determina todos os outros aspectos da estrutura profunda.

II – A componente categorial é aquilo a que Chomsky chama uma gramática simples, ou uma gramática não contextual de estrutura de frases.

Podemos definir a componente categorial da Base como um sistema de regras do tipo $A \rightarrow Z$, em que A é um símbolo de uma categoria (por exemplo, S para frase, NP para frase nominal, etc.) e Z um conjunto de símbolos dispostos numa sucessão.

Cada regra permite que cada elemento A seja reescrito como um certo elemento Z, independentemente do contexto de A, e da sua origem na derivação (no caso que estamos a considerar, de uma gramática não contextual).

Os símbolos Z assim obtidos, podem ser (1) ou novamente símbolos categoriais ou (2), pelo contrário, símbolos terminais. Os símbolos terminais são caracterizados por nunca aparecerem à esquerda do sinal \rightarrow em qualquer regra de base, isto é, aqueles símbolos a que não se aplica qualquer regra de derivação da Base.

Uma derivação é definida como uma sucessão de linhas que satisfaz as seguintes condições:

A primeira linha é constituída apenas pelo símbolo S (frase). A última linha contém apenas símbolos terminais. Se X e Y são duas linhas sucessivas então (1) X tem de ser da forma ... A ... e Y da forma ... Z ... e além disso (2) $A \rightarrow Z$ é uma das regras de Base.

Dadas duas linhas sucessivas da forma indicada no parágrafo anterior, dizemos que o conjunto de símbolos dispostos nessa sucessão deriva de A, se está incluído entre parêntesis da forma [A]A.

Podemos obter uma representação equivalente à feita por meio de parêntesis com índices, usando um diagrama ou árvore de ramificações, em que cada nó A domina ou é predecessor dos nós que são ocupados por símbolos Z, de acordo com as regras da Base.

Qualquer dos símbolos terminais da componente categorial é representado por Δ .

Entre os símbolos não terminais estão incluídos aqueles que representam categorias léxicas, por exemplo N para substantivo, V para verbo, ADJ para adjetivo. Note-se que uma categoria léxica A, só pode aparecer ao lado esquerdo de uma regra $A \rightarrow Z$ se Z é Δ .

As entradas léxicas serão então inseridas no lugar de Δ por meio de regras de tipo diferente. Para além do Δ que indica a posição em que um elemento do léxico deve entrar, os símbolos terminais da componente categorial são elementos gramaticais e irão ter uma dada significação semântica.

Por aplicação das regras da Base, isto é, pelas regras da estrutura da fase da componente categorial e pelas regras da inserção léxica, obtém-se portanto um sistema de parêntesis com índices, que será designado de "Marcador de Frase da Base" e será representado por um conjunto de símbolos dispostos numa sucessão e convenientemente incluídos num sistema de parêntesis com índices.

Por outro lado, as regras da componente transformativa estão dispostas numa sucessão T_1, T_2, \dots, T_m , e são aplicadas de maneira cíclica a um dado Marcador de Frase de Base de maneira a modificá-lo. Essa aplicação é feita de maneira ordenada, primeiro às configurações dominadas por S, isto é, a uma configuração $[S \dots]S$ que não contém qualquer outra ocorrência de S. Em seguida, quando já foram aplicadas todas as regras a todas as configurações S, as mesmas regras aplicadas a configurações que eram dominadas por S.

Este processo continua até todas as regras serem aplicadas ao "Marcador de Frase de Base" dominado pelo S inicial, obtendo-se como resultado uma estrutura de Superfície.

A HIERARQUIA DAS GRAMÁTICAS

A matemática oferece, como acabámos de ver, uma linguagem exacta para exprimir muitas das ideias básicas de teoria linguística, o que permite melhorar o entendimento de muitos problemas postos pelo estudo empírico da linguagem, através da Teoria dos Autómatos e como Modelos Cibernéticos dos Processos Psicológicos.

Vamos resumir brevemente alguns aspectos, também importantes, do estudo matemático das gramáticas.

Segundo Noam Chomsky, como já antes o fizemos, podemos construir uma gramática G, da maneira seguinte:

G é um semi-grupo com a operação de concatenação, definido sobre sucessões de símbolos que pertencem a um conjunto V de símbolos, que contém um elemento de identidade I. V é interpretado como o vocabulário de G.

$V \equiv V_R \cup V_N$ em que V_R e V_N são conjuntos disjuntos: V_R é interpretado como o vocabulário terminal e V_N como o vocabulário não terminal.

V_R inclui I e um elemento limitante.

V_N inclui um elemento S (Frase).

Define-se uma relação binária $- \rightarrow -$ sobre elementos de G, que pode ser lida - pode ser reescrito como - .

Esta relação satisfaz os seguintes axiomas:

I Axioma: \rightarrow é irreflexiva

II Axioma: $A \in V_N$ sss há $\varphi \psi \omega$ tais que $\varphi A \psi \rightarrow \varphi \omega \psi$

III Axioma: Não há qualquer $\varphi \psi \omega$ tais que $\varphi A \psi \rightarrow \psi \# \omega$

IV Axioma: Há um conjunto finito de pares $(x_1, \omega_1), \dots, (x_n, \omega_n)$ tal que para todos $\phi, \psi, \phi \rightarrow \psi$ sss há ϕ_1, ϕ_2 e $j \leq n$ tais que $\phi = \phi_1 x_j \phi_2$ e $\psi = \phi_1 \omega_j \phi_2$.

Assim os pares (x_i, ω_i) cuja existência é garantida pelo Axioma IV, dão uma especificação finita para a relação \rightarrow .

Chomsky e Miller definem ainda um certo número de termos, nomeadamente (1) a relação de "equivalência fraca" que existe entre duas gramáticas (isto é, dois sistemas da forma G), se ambos produzem a mesma linguagem.

(2) a relação de "equivalência forte" que existe entre duas gramáticas quando elas geram não só o mesmo conjunto de sucessões de signos, mas também o mesmo conjunto de descrições estruturais para essas sucessões de signos.

A noção de equivalência forte foi usada para avaliar a adequação dos sistemas gramaticais em relação aos dados empíricos.

Além do conjunto inicial de axiomas, Chomsky e Miller estabeleceram um certo número de condições restrictivas, que caracterizam diversos tipos de gramáticas, e estudaram as relações entre as gramáticas que delas resultam e as linguagens que satisfazem essas restrições.

Restrição 1: Qualquer regra tem a forma $xAy \rightarrow xwy$ em que A é um símbolo único, w não é I e x e y podem ser iguais a I.

Restrição 2: Cada regra é da forma $xAy \rightarrow xwy$, em que A e w satisfazem as mesmas condições que na restrição 1, mas x e y têm de ser nulos.

Restrição 3: Qualquer regra tem a forma $xAy \rightarrow xwy$ em que A, x e y satisfazem as condições da Restrição 2, mas em que w é não nulo e ou é um símbolo terminal isolado, a, ou um símbolo terminal isolado mais um símbolo não terminal isolado, a B.

Uma gramática em que não se impõe nenhuma destas restrições é designada por Chomsky e Miller, de gramática do Tipo 0. As gramáticas que satisfazem respectivamente as Restrições 1, 2 e 3, são designadas gramáticas de Tipo 1, 2 e 3. A cada uma destas gramáticas correspondem linguagens, respectivamente do Tipo 0, 1, 2 e 3.

As gramáticas de Tipo 0 são designadas por Chomsky de sistemas de re-escrita não restringidos (NR).

As gramáticas de Tipo 1 são gramáticas contextuais de estrutura de frase (context-sensitive), (SC) (sensíveis ao contexto).

As gramáticas de Tipo 2 são independentes do contexto (context free) (LC) (libertas do contexto).

As gramáticas de Tipo 3 são gramáticas do estado finito (finite state) (EF) (estado finito).

Chomsky e Miller demonstram em seguida um teorema em que estabelecem que, quer para as gramáticas quer para as linguagens a seguinte relação é verdadeira:

$$\text{Tipo EF} \subseteq \text{Tipo LC} \subseteq \text{Tipo SC} \subseteq \text{Tipo NR}$$

Em relação às gramáticas este facto resulta trivialmente da definição das restrições.

Para demonstrar o mesmo em relação às linguagens produzidas por cada um desses tipos de gramáticas, a situação é mais complexa, sendo necessário provar que há linguagens produzidas por gramáticas NR que não podem ser produzidas por qualquer das mais restrictas, e provar o mesmo em relação às do Tipo SC, LC e EF.

A comparação entre sistemas não restringidos NR, e gramáticas SC, é baseada num ramo da matemática, a Teoria das Funções Recursivas.

Em geral esta disciplina está relacionada com a Teoria das Máquinas de Turing e dos Autómatos.

Os modelos que apresentámos anteriormente são interpretáveis, ou como Au-

tómatos finitos, ou como Máquinas de Turing (neste último caso, se dispuserem da possibilidade de leitura de símbolos, de movimento ao longo de uma sucessão de símbolos, e se as situações de transacção com o ambiente permitirem um registo de símbolos, equivalente ao que ocorre na fita infinita de uma Máquina de Turing).

Chomsky estabelece que qualquer conjunto recursivamente numerável de sucessões de Sinais, é uma linguagem de Tipo 0 (e a inversa também é verdadeira).

Um conjunto recursivamente denumerável, é um conjunto que pode ser gerado por uma Máquina de Turing.

Por definição, um conjunto decidível de sucessões de signos é um conjunto tal que, dada uma sucessão de signos qualquer, é sempre possível determinar se ela pertence ou não ao conjunto, por meio de um número finito de operações.

Como a Restrição 1 garante que, em cada duas linhas quaisquer de uma derivação, a segunda será sempre no máximo tão longa como a primeira, poderemos sempre dizer, para qualquer sucessão de comprimento finito, se a sucessão é ou não derivável da gramática, simplesmente examinando todas as derivações possíveis da sucessão que não sejam maiores que a sucessão considerada.

Por outro lado, como há conjuntos recursivamente numeráveis que não são decidíveis, enquanto que qualquer conjunto decidível é recursivamente numerável, segue-se que o conjunto das linguagens SC está incluído no conjunto das linguagens não restringidas NR.

Chomsky e Miller demonstraram também que para qualquer gramática formada a partir de uma gramática SC acrescentando uma regra de permutação $xy \rightarrow yx$ há uma gramática SC equivalente, e que uma linguagem de forma $a^n b^m a^n b^m$ é SC. Em seguida demonstraram que uma linguagem desse tipo não pode ser gerada por uma gramática LC, e que há linguagens do tipo LC que não podem ser geradas por gramáticas EF.

Resultados do tipo que expusemos, marcam um progresso no caminho em direcção a uma teoria geral da estrutura linguística em que é possível formular hipóteses acerca das classes de sistemas em que as linguagens naturais estarão incluídas.

Se os modelos construídos para a linguagem forem sucessivamente mais poderosos, e se uma dada linguagem que não puder ser representada por um desses modelos possui características comuns com algumas das características das linguagens naturais, isso mostra que os modelos teóricos são insuficientes.

Foi demonstrado que, quer as gramáticas do Estado Finito, quer as gramáticas independentes do Contexto eram inadequadas, nesse sentido, para a representação da linguagem.

Por outro lado, embora certas linguagens possam ser representadas por gramáticas sensíveis ao Contexto (SC), o número de regras necessárias para a teoria ser completa seria extremamente elevado.

Do ponto de vista das relações de equivalência forte, nenhuma das linguagens anteriormente descritas é adequada.

Chomsky mostrou que uma gramática do Estado Finito podia ser representada por um Autómato Finito do tipo a que já fizemos referência no capítulo sobre os símbolos usados na construção de modelos.

Uma Gramática ^{ao} Sensível ao Contexto, é representável por um "Autómato com Armazenamento Progressivo na Memória" (Push-Down Storage Automaton), que se caracteriza por, além da fita em que o autómato lê os símbolos da linguagem, existir uma outra fita para o armazenamento na memória, limitada num dos sentidos de leitura ou inscrição, mas infinita no outro sentido.

O autómato pode ler e inscrever símbolos na fita de memória e a mudança do seu estado é determinada não só pela fita onde estão inscritos os símbolos da linguagem, como ainda pelo seu estado actual e pelos símbolos que inscreveu mais recentemente na memória.

As Gramáticas não Restringidas podem ser representadas por Máquinas de Turing.

A designação "Representação de uma gramática", é entendida por Chomsky, quer como uma representação da operação em que se reconhece se uma sucessão

qualquer de símbolos pertence, ou não, a uma gramática, quer de operação de produção de símbolos que pertencem a essa gramática.

O problema, em relação ao nosso ponto de vista, é que, embora uma gramática no sentido de "Langage" de Saussure possa ser representável por um Autômato Infinito ou por uma Máquina de Turing, seria desejável que o modelo de um utente da linguagem, o que corresponde ao sentido de "parole" de Saussure, fosse representável por um autômato finito.

MODELO DE RECONHECIMENTO, INTERPRETAÇÃO E PRODUÇÃO DE EXPRESSÕES LINGUÍSTICAS

O modelo que vamos apresentar baseia-se nos anteriormente apresentados para a Memória, Percepção e Reencontro da informação.

No nosso modelo, o primeiro estadio de processamento relevante para a detecção e identificação das expressões verbais recebidas por meio do aparelho auditivo, é já realizado ao nível do órgão receptor periférico. Aí as mensagens são recodificadas de um modo que seja compatível com as frequências de descarga de que os elementos do S. N. são capazes.

O estadio seguinte diz respeito à análise dos sinais de um modo tal que permita o reconhecimento dos Fonemas. Cada Fonema é definido como um conjunto de classes de Alofones, e cada classe de Alofones por um conjunto de espectros de frequência equivalentes.

Assim, a mensagem é transmitida aos analisadores cerebrais de uma maneira difusa, isto é, não endereçada exclusivamente a locais particulares. Nas zonas receptoras existirão decodificadores constituídos por conjuntos de neurónios idênticos aos postulados nos modelos dos processos visuais. Esses decodificadores terão uma estrutura anatómica e um modo de funcionamento análogo àqueles que descrevemos quando tratámos dos fenómenos de percepção visual e da localização e reencontro da informação.

Cada um desses decodificadores realizará a correlação cruzada entre a mensagem recebida e um impulso unitário recebido com uma dada frequência. Essa operação será feita em paralelo, em relação a um conjunto de diferentes frequências, cuja presença será detectada simultaneamente, permitindo identificar os Alofones. Os operadores seguintes assinalarão a ocorrência de um dado fonema, cada vez que for identificado um Alofone que pertença a uma das classes de equivalência pelas quais é definido.

A operação de correlação será limitada no tempo, e a amostragem de dados a partir das quais é tomada cada decisão relativamente ao sinal recebido, será iterada com uma frequência de repetição tal que a identificação de cada fonema será repetida várias vezes. Os detectores de cada fonema estarão além disso repetidos um número elevado em diferentes locais.

As relações que existem entre os fonemas serão identificadas por estruturas neuronais que detectarão sucessões temporais de fonemas e de junções entre eles, definindo os morfemas e a partir deles, outros detectores identificarão as palavras e as relações entre elas.

A detecção de um Morfema será definida como o resultado da detecção de Fonemas e de junções entre eles, processada de tal modo que cada Fonema é detectado no contexto dos que o precedem e dos que o sucedem.

As Palavras serão constituídas por Morfemas unidos por junções e serão limitadas por intervalos que as separam umas das outras, de tal modo que são as formas livres bem estruturadas mais elementares. Para que uma palavra seja detectada, é necessário que o Morfema ou os Morfemas que a constituem, sejam identificados numa certa sucessão temporal, operação que é realizada por conjuntos de operadores neuronais que são interpretáveis como realizando funções temporais dos re-

sultados da detecção ao nível fonémico. As identificações de Morfemas irão permitir a correcção por reafertações, e numa base contextual, dos dados fonéticos individuais, com base apenas nas relações implícitas no método de codificação.

A detecção de um conjunto de Morfemas que constituem uma palavra dará lugar a um processo de localização e reencontro de informação que diz respeito aos vários domínios de significação da palavra. Conservando-nos a este nível estritamente linguístico, cada dado léxico será relacionado com as formas verbais que no uso social da linguagem estão mais frequentemente a ele associadas. Por outro lado, os estádios anteriores, de detecção Fonémica e Morfémica, serão corrigidos a partir da informação que resulta da comparação entre as várias palavras cujo registo na memória foi activado. Quer dizer, o processo de detecção mais elementar, pode ser corrigido por reafertação, a partir dos resultados da detecção de formas verbais livres - nomeadamente dada uma certa posição ocupada por um fonema numa forma verbal livre, o conhecimento dos restantes fonemas poderá permitir (1) uma imediata especificação daquele que ocupa esse lugar, ou pelo menos (2) dar uma identificação quanto à medida da probabilidade com que os elementos de um subconjunto de fonemas podem ocupar esse lugar. Este processo pode pois permitir não só a correcção de erros, como ainda o controle da qualidade da detecção.

Por outro lado, a identificação de uma forma verbal livre vai evocar os processos perceptivos, afectivos, cognitivos ou as decisões pragmáticas que estão relacionadas com essa forma verbal e permitem, em conjunto com as relações com outras palavras, a definição da sua significação.

O processo de detecção de uma frase, será definido como a detecção de um conjunto de palavras até um certo comprimento. O comprimento terá um limite superior L , imposto pela capacidade do registo de memória de curta duração.⁴⁷²

Em geral a segmentação de frases será feita através dos formadores gramaticais e das relações entre estes formadores e os restantes componentes, e, por outro lado, através de um critério quanto à significação desse conjunto estruturado por relações sintácticas, ser ou não bem construído e completo.

Também este processo poderá exercer um efeito de correcção, por reafertação, nos estádios anteriores.

Resumindo, a estrutura de relações fonémicas, morfémicas e mesmo as sintácticas visará a constituir um sistema de sinais em que os próprios processos de codificação e de descodificação já permitem o controle e a correcção de erros, independentemente da significação, que aliás, só surge de maneira relevante a partir do nível morfémico. A partir deste nível o modelo pode ligar-se com o de Chomsky na medida em que a identificação da estrutura sintáctica profunda vai permitir por um lado o controle de identificação de sinais, por meio da componente fonológica e morfémica, e por outro lado terá importante papel na especificação da significação por meio das relações léxicas e categoriais. Por outro lado, a correcção pode resultar não só dos dados linguísticos, mas igualmente dos processos referenciais perceptivos, afectivos, cognitivos e pragmáticos. Um terceiro sistema de controle e correcção estará relacionado, como já dissemos, com a evocação de palavras, com uma probabilidade que depende do uso que o indivíduo faz da linguagem, na comunidade a que pertence.

A relação sintáctica será definida pelas relações entre os detectores de formas livres em que a excitação atingiu um nível mais elevado. Como o sistema está programado de tal modo que cada operador está conectado com os restantes, formar-se-á um conjunto de estados de excitação nos quais se diferencia uma configuração dos estados de maior excitação.

As conexões entre os operadores tanto linguísticos como ligados aos outros processos - perceptivos, afectivos, cognitivos e pragmáticos - permitirão a especificação de um conjunto de relações representadas pelos operadores em que a activação for máxima.

A este nível neuronal de descrição, a significação será a correspondência entre essa configuração de estados de excitação e as configurações de estados de excitação que definem sob uma forma linguística os estados perceptivo, afectivo, cognitivo e pragmático, ligados tanto à situação de comunicação linguística presente, co-

mo à experiência passada, e ainda os dados que definem a situação de um ponto de vista não linguístico.

A significação a nível consciente será a projecção de uma parte destes dados sobre um novo sistema de coordenadas que definem os parâmetros de que o sujeito pode ter um conhecimento reflexivo.

A criatividade que caracteriza o uso da linguagem pode ocorrer tanto em relação com os processos de detecção, como com os de comunicação de formas verbais.

A criatividade nos processos de detecção consistirá no reconhecimento de formas linguísticas novas. Pode surgir a nível fonémico, morfémico, verbal, sintáctico e semântico. De um ponto de vista operacional será definida pela decisão, a partir do contexto fonémico, morfémico, verbal, sintáctico, semântico e ainda do contexto não linguístico, de como devem ser classificados os fonemas, morfemas, palavras ou frases que vão surgindo. Uma definição equivalente pode ser dada para os processos de enunciação. Pode ser obtida a partir da anterior por substituição da palavra detecção por enunciação, reconhecimento por produção, e frases por processos cognitivos, perceptivos, afectivos ou pragmáticos.

Tanto no sentido da detecção como no da enunciação, a criatividade exprimir-se-á, no modelo, de um modo análogo àquele que sugerimos, no capítulo sobre a memória, para a auto-programação de redes, de acordo com a experiência. Isto é, face a um conjunto de expressões linguísticas novas ou apenas desconhecidas, o algoritmo de síntese de redes, vai (1) segmentar os sinais, primeiro do ponto de vista das regras de codificação e descodificação que eles devem satisfazer, e (2) especifica em seguida qual é a estrutura relacional de neurónios que produziria uma expressão igual, no seu funcionamento autónomo.

Ao nível fonológico de produção, as sucessões de 1 e 0 que definem as características distintivas, irão gerar os comandos de enunciação efectiva ao nível do órgão fonador, isto é, vai programar também o "tempo" e a coordenação das decisões.

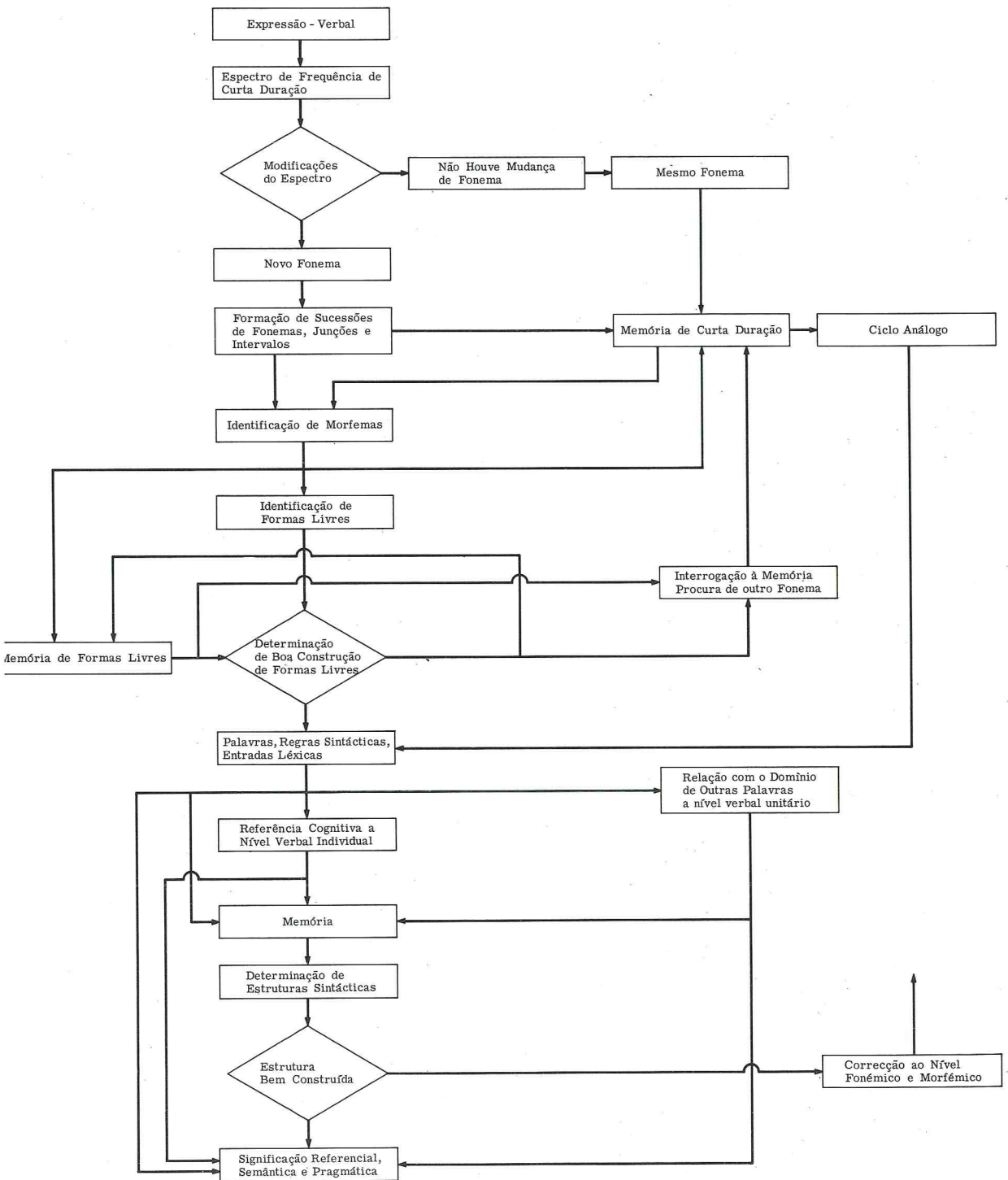
Ao nível morfémico, os comandos de sucessões de fonemas a partir dos quais são produzidos os morfemas, receberão uma "marca", tal como sugerimos em relação aos processos perceptivos, para o reencontro de informação, de tal modo que o comando vindo do nível das formas verbais livres vai poder desencadear a sua produção sem que tenha de haver alteração das conexões no sistema de comunicação. Ao nível verbal, os processos cognitivos, perceptivos, etc., vão especificar conjuntos de palavras que serão atributos de categorias com analogia com a categoria em causa. Eventualmente serão introduzidas palavras novas, a que corresponderão comandos de sucessões morfémicas, como especificámos no parágrafo anterior.

No processo de detecção a análise espectral vai permitir a definição de novas características distintivas, ou de novas combinações entre as já existentes. Em seguida será programada a rede que permitirá o seu ulterior reconhecimento.

Ao nível verbal, as partes conhecidas de uma frase nova e o contexto não linguístico, vão evocar uma significação que permite uma segmentação categorial para as formas verbais. (1) por analogia com as formas já existentes ou, (2) por preenchimento, como se se tratasse de um intervalo produzido pelo ruído. Seguir-se-á a especificação das relações sintácticas com os restantes elementos, de acordo não só com os processos cognitivos como ainda com as regras sintácticas incluídas em outras entradas léxicas ou categoriais, com relações que tenham analogia com aquelas que é possível conhecer em relação aos novos constituintes.

Além de todas as dificuldades que surgirão na passagem do modelo teórico para uma realização por um dispositivo físico, sentimos como problema mais difícil, ainda por resolver, o do reconhecimento de formas – tanto visuais como acústicas.

Os esforços de investigadores dentre os quais destacaremos Minsky e Papert⁴⁸² permitem-nos no entanto prever um rápido progresso em relação à situação actual. O problema que mais dificuldades causa nesse domínio – o da invariância sob grupos de transformações – surge sob uma forma mais ou menos evidente em todos os processos psicológicos de que tratámos.



Capítulo XIX

Personalidade

O conceito de personalidade definida como uma estrutura relativamente constante ao longo da evolução do indivíduo no tempo, corresponde a uma realidade tanto do ponto de vista do próprio sujeito como dum observador externo.

Por outro lado, a noção subjectiva do Eu como um sistema de referência, em relação ao qual é avaliada a experiência que corresponde às transacções com o meio externo, ou são planeados os comportamentos, aparece quer de forma explícita quer implícita, nas descrições que um sujeito faz acerca das suas condutas. O conceito de personalidade inclui todos os processos que descrevemos ou discutimos até agora, e o conjunto de relações entre eles. Devemos ainda acrescentar um outro processo que diz respeito à "Imagem do Eu", entendida como o conhecimento que o sujeito tem de si mesmo a nível consciente.

É possível distinguir entre (1) a imagem ou representação subjectiva do Eu (2) a imagem do Eu que corresponde a uma descrição feita a partir dos dados de que pode dispor um observador externo que esteja na posse de critérios válidos para classificar as características a partir das quais um sujeito forma a sua própria imagem e (3) a imagem de si próprio, que um sujeito usa ou procura transmitir nas suas relações inter-pessoais.

Em muitas situações psicopatológicas, a descrição das perturbações psíquicas de um sujeito fica amputada de uma parte altamente significativa e importante para a sua compreensão, se não incluir uma avaliação da incongruência entre a imagem do Eu, como é tida pelo próprio sujeito, e a imagem que é construída por um observador externo que dispõe de dados em número suficiente. A teoria da Personalidade de Rogers corresponde a este ponto de vista, necessário para a interpretação de muitas situações psíquicas tanto anormais como normais. Essa teoria baseia-se no conceito de que em relação ao organismo, definido como a totalidade do indivíduo, se pode definir um Campo fenoménico, que é a totalidade da experiência do indivíduo numa dada situação de transacção.

O conceito do Eu seria uma parte do Campo Fenoménico, que consistiria num conjunto relativamente permanente de percepções e de afectos, de normas e valores, de motivações, reunidos numa estrutura relacional.

O organismo por um lado reagiria como um todo organizado às experiências que constituem o Campo Fenoménico, de modo a satisfazer as suas necessidades e motivações e por outro tende a auto-organizar-se adaptativamente em função das situações a que vai sendo sujeito.

Vimos, nos capítulos anteriores, modelos em que se procura descrever o modo como o organismo é capaz de construir representações simbólicas das experiências, processadas a nível consciente e que participam na interacção reguladora que essa estrutura cognitiva exerce sobre as estratégias de acção, nas reacções afectivas e na construção da imagem do mundo exterior.

Rogers admite também a existência de processamentos a nível inconsciente, que não correspondem directamente aos processos fisiológicos, nem a correspondências simbólicas elementares entre estes processos e os estados do ME e do MI, mas sim a estruturas mais complexas, com um nível de simbolização equivalente ao dos processos cognitivos.

Na nossa interpretação, os mecanismos neuronais de que depende a imagem do Eu poderiam, por um mecanismo de reafirmação, impedir o acesso de certas representações a um nível consciente de processamento, modificando-se em consequência disso o seu papel nas decisões de acção, que em geral tenderiam a ser congruentes com o Eu.

Os dados sobre o próprio, que não fossem consistentes com a imagem do Eu, seriam vivenciadas em certas circunstâncias com carácter afectivo desagradável. Neste sentido, a estrutura relacional de que depende a imagem do Eu, seria um sistema variável no tempo, que poderia evoluir e modificar-se em resultado da maturação e da aprendizagem.

Do ponto de vista dos modelos será possível formalizar o conceito da imagem do Eu, como correspondendo a uma projecção sobre um sistema multidimensional de coordenadas, de um certo número de dados de que o próprio têm em geral conhecimento a nível consciente, ou que tem acesso a esse nível de processamento em certas circunstâncias.

O ponto de vista novo, que implica a introdução nos modelos cibernéticos de uma estrutura deste tipo, é o de as reacções não dependerem apenas de funções isoladas ou das suas relações, quer fixas quer variáveis, mas também de um processamento de nível mais elevado que corresponderia a uma projecção sobre um conjunto de coordenadas de referência, não apenas de dados elementares, mas de funções desses dados elementares.

Clínicamente, na situação médico-doente a investigação das características da Personalidade, que deve ser distinguida do estudo da imagem subjectiva do Eu,³⁹⁹ é feita de maneira intuitiva e sem rigor, dependendo em grande parte da capacidade de observação e de compreensão do observador e da situação de comunicação que é possível estabelecer.

Um ponto de vista mais promissor, corresponde também neste caso à definição operacional de⁹² personalidade, a partir da análise factorial feita por investigadores como Cattell, Thurstone,⁶²³ Eysenck.¹⁵⁴

O estudo factorial permite descrever a personalidade de um indivíduo, a partir de um conjunto de dados anamnéticos, de observação, testes e questionários, de tal modo que fica garantida a maior simplicidade e economia possível no que concerne às entidades – os factores – que têm de ser postulados como elementos a partir dos quais a personalidade é qualificada e descrita.

O estudo da personalidade do ponto de vista da análise factorial, conduziu a resultados interessantes, dentre os quais se podem mencionar como mais significativos os de Cattell e Thurstone.

Básicamente, o método factorial consiste na construção de um certo número de testes que correspondem a características, consideradas a priori como importantes para a definição e predição dos comportamentos e das reacções dum indivíduo.

Os resultados desses testes são correlacionados entre si. Para cada conjunto de testes cujos elementos tenham elevada correlação entre si, postula-se a existência de um factor comum a todos eles, a partir do qual poderão ser descritos.

As medidas feitas pelo uso dos testes e o modelo matemático aplicado, conduzem à representação da personalidade por um conjunto de vectores, cada um correspondendo a um dos factores definidos pelo método de correlação.

A vantagem dessa construção teórica para um ponto de vista cibernético sobre a personalidade, resulta de ser possível fazer uma transposição das medidas factorialistas para uma representação Pseudo-Booleana que não só satisfaz uma representação quantitativa, como é ainda susceptível de ser interpretada como correspondendo a um conjunto de relações lógicas.

Como consequência, seria então possível fazer uma formalização rigorosa do sistema, e atingir o detalhe com que ele é descrito pela psicologia fenomenológica.

Vimos atrás que o procedimento matemático de correlação de que o factorista se serve para definir e caracterizar os vectores que correspondem a cada característica da personalidade, pode ser realizado por conjuntos de neurónios, isto é, esse facto implica que ficou também demonstrado que se o S.N. dispuser dos mesmos dados, pode também, por correlação, chegar a uma representação da imagem do Eu com características idênticas àquelas que são obtidas pelo psicólogo. Esta descrição poderia também ser codificada e processada no S.N.

Uma descrição deste tipo não permitiria, no entanto, entender as características da personalidade a partir dos processos básicos que discutimos ao longo dos capítulos anteriores. Seria assim possível predizer como é que um sujeito reage num conjunto de situações consideradas como importantes, e definir quais são os factores de que dependem esses modos característicos de reagir. Não seria, no entanto, imediatamente evidente, quais seriam os processos psicológicos básicos e as relações entre eles, que constituiriam estruturas permanentes da personalidade, a partir do conhecimento das quais se podem predizer os comportamentos e as reacções do sujeito em causa.

A situação não é no entanto tão simples como poderia aparentemente concluir-se da discussão que acabamos de fazer, na medida em que não está esclarecido o modo como, quer as funções básicas, instintivas, motivacionais, emocionais, quer a aprendizagem e as estruturas mais complexas de que dependem os processos cognitivos, os sentimentos e as atitudes, a comunicação verbal e a imagem do Eu, estão relacionadas entre si, e que não são apenas elementos necessários para a descrição da personalidade, mas sim as causas de que dependem as características da personalidade.

Na teoria de Cattell, a que faremos uma referência mais extensa e que, em nosso entender tem apenas valor como descrição e não como explicação científica, o conceito de personalidade é definido, como uma estrutura de características.

Tomando como ponto de partida a observação de uma regularidade de um dado comportamento, o conceito de característica visa explicar essa regularidade. Trata-se portanto de uma variável interveniente.

Cattell não usou a palavra estrutura como referindo-se a uma descrição a um nível neurofisiológico. Embora se tenha servido de alguns dados neurofisiológicos e comportamentais e se tenha referido a eles explicitamente ao definir as suas características, a sua construção é muito deficiente nesse aspecto. Tal como Allport, Cattell estabelece uma distinção entre "características comuns" que existem na generalidade dos indivíduos e "características únicas", que existem apenas num único indivíduo.

É também importante na Teoria de Cattell, a distinção entre "características de superfície", que representam conjuntos de variáveis patentes à observação, e "características básicas", que correspondem a conjuntos de variáveis cuja observação não é imediata, e cuja existência é inferida a partir dos resultados das correlações entre as respostas aos vários testes usados.

Cada uma dessas características de superfície é analisável num conjunto de características básicas, que podem entrar na constituição de outras características de superfície.

As características de superfície são aparentemente análogas, do ponto de vista da psicologia normal, ao conceito de síndrome em psicopatologia. Não existe no entanto correspondência satisfatória entre um e o outro grupo de entidades. É aqui que, do ponto de vista da investigação, parece encontrar-se uma das linhas mais prometedoras de investigação, eventualmente capaz de tomar em consideração os factores genéticos e evolutivos da personalidade de uma maneira muito mais adequada do que se pode conseguir a partir da teoria psicanalítica da personalidade.

Cattell discute o problema da inter-relação dos factores ambientais e dos factores genéticos, tomando o ponto de vista de que embora as características de superfície representem uma mistura de factores ambientais e de factores genéticos, pelo contrário, ao nível das características básicas, essa distinção será possível.

Cattell distingue três classes principais de características:

(1) Características dinâmicas se dizem respeito à execução de sucessões de actos tendentes à realização de uma certa intenção.

(2) Características de eficácia que dizem respeito à adequação das estratégias de que o sujeito se serve para atingir um certo objectivo.

(3) Características de temperamento que dizem respeito à reactividade emocional, à rapidez e à intensidade do investimento de esforço.

Para estabelecer empíricamente as características básicas, Cattell serviu-se de três tipos principais de informação:

(1) O registo biográfico, do ponto de vista dos comportamentos predominantes em diferentes situações, fazendo-se uma quantificação desses dados; (2) a classificação feita pelo indivíduo sobre o seu próprio comportamento e (3) testes objectivos, em que o indivíduo é observado numa situação especificamente criada para esse fim.

Como resultado dessas investigações, Cattell concluiu que é possível identificar 14 ou 15 características básicas.

Dentre estes, seis foram repetidamente confirmadas: ciclotimia - esquizotimia; aptidão intelectual - deficiência intelectual; ímpeto - falta de ímpeto; ciclotimia aventureira - esquizofrenia; mente cultivada, sociável - rudeza; desprendimento boémio - atitude prática convencional.

Estas designações não são muito encorajadoras, quer no que concerne à profundidade dos resultados, quer quanto ao seu poder predictivo. Quanto ao seu valor como explicação, é evidente que não tem qualquer relação imediata com os diferentes processos psicológicos.

Cattell sugere que estas denominações são inadequadas, e que é mais apropriado não as usar mas apenas para que não haja confusão com as caracterizações que podem ser sugeridas pelas designações anteriores. Serve-se, para as distinguir, de uma notação numérica.

No que concerne as características de superfície, Cattell chegou à conclusão de que havia 50 ou 60 conjuntos de características com interesse para a descrição da personalidade.

Dentre as características básicas Cattell distingue um certo número de características constitucionais, embora modificáveis por aprendizagem, que são as determinantes de esquemas de comportamento, e que são designadas de Ergs.

Segundo Cattell um Erg é uma predisposição psico-física, que permite a quem a possui, adquirir uma reactividade (atenção, reconhecimento) a certas classes de objectos mais facilmente que as outras, vivenciar uma certa emoção em relação a eles e iniciar uma sucessão de actos que cessa mais completamente com a realização de uma dada actividade intencional do que com qualquer outra que porventura ocorra. Estão também incluídos nos Ergs certos esquemas preferenciais de comportamento tendentes a realizar um certo propósito ou intenção. Cattell não publicou ainda nenhuma lista de Ergs.

Uma lista que lhe é atribuída inclui como Ergs os seguintes: sexo, auto-afirmação, fuga (medo, ansiedade), protecção (comportamento parental), comportamento gregário, procura de repouso (sono), exposição (curiosidade), afectividade narcisística, etc.

Cattell designa de "Metaergs" certas características básicas, dinâmicas, que surgem na interacção com os factores socio-culturais. Enquanto que os Ergs seriam hereditariamente determinados, os Metaergs surgem apenas com o desenvolvimento não se tratando de determinantes constitucionais. Nesta categoria estão incluídos todos os motivos secundários - atitudes, interesses e sentimentos, a que já nos referimos quando tratámos dos processos cognitivos e dos afectos de nível mais elevado.

Para Cattell, os sentimentos são grandes estruturas dinâmicas de conjuntos de características, que determinam (1) que seja prestada atenção a certos objectos ou classes de objectos, (2) que ocorram certos modos de reacção afectiva e (3) cer-

tos tipos de reacção comportamental em relação a esses objectos ou situações.

A razão pela qual Cattell atribuiu mais importância no seu estudo aos sentimentos que às atitudes ou interesses, é que os sentimentos são mais permanentes que as atitudes e os interesses.

A distinção entre os vários tipos de "Metaergs" não é nítida. Os sentimentos podem em certos casos ser dificilmente distinguíveis das atitudes que, por sua vez, são dificilmente separáveis dos interesses.

As investigações de Cattell levaram-no a identificar uma pequena lista de sentimentos, muito incompleta, e que inclui: o interesse em desportos e jogos, na religião, na carreira, interesses mecânicos, patriotismo, e sentimento do próprio.

Trata-se, como se vê, de uma lista cuja relevância para o nosso estudo diz mais respeito à atitude da investigação adoptada por Cattell, do que aos resultados já obtidos.

O CONCEITO DE INTEGRAÇÃO EM CONJUNTOS ORGANIZADOS

Se procurarmos compreender um esquema comportamental intencional qualquer, a partir dos conceitos introduzidos por Cattell, encontramos um certo número de características inter-relacionadas, de tal modo que é legítimo falar de uma intenção final, que apenas é atingida depois da realização de um certo número de intenções intermediárias, cada uma ligada à obtenção de certo objectivo.

Cattell sugere que a distinção entre Erg, Sentimento, Atitude e Interesse pode ser feita em termos destas cadeias de esquemas que dependem uns dos outros.

Os Interesses são em geral dependentes das Atitudes, que por sua vez dependem dos Sentimentos enquanto que os Sentimentos dependem dos Ergs. Na realidade estas relações são muito complexas e a análise de um dado acto revelará, em geral, a existência de um número extraordinariamente elevado de conjuntos de Ergs específicos, Sentimentos e Atitudes.

Para representar esta complexidade Cattell sugere o uso de uma matriz dinâmica que mostra a inter-relação das numerosas cadeias subsidiárias possíveis.

A ESTRUTURA E A DINÂMICA DA PERSONALIDADE SEGUNDO G. ALLPORT

Na teoria de Allport^{13,14} a estrutura da personalidade é também descrita a partir de características. O comportamento é considerado como motivado por essas características. Allport considera como importantes para a compreensão do comportamento, desde os reflexos elementares até características "fundamentais" ou ao "proprium". As formas de organização que correspondem a esse comportamento, são consideradas como estruturadas de maneira hierárquica, de tal modo que as componentes mais gerais têm precedência sobre as que são mais específicas.

Característica

Característica é para Allport uma tendência determinante ou uma predisposição para responder.

Allport define característica como "um sistema neuropsíquico generalizado e localizado (peculiar de um indivíduo), com a capacidade de tornar funcionalmente equivalentes muitos estímulos, e de enunciar e guiar formas consistentes de comportamento adaptativo e expressivo".

Nesta definição, além da acentuação das diferenças individuais, a designação "sistema neuro-psíquico", visa pôr em relevo que o autor se está a referir à parte que ele pensa que é estritamente biológica, e cuja existência seria independente dos factores sociais.

A estabelecer-se uma distinção entre "característica" e "hábito", deve notar-se que ambos são "tendências determinantes", mas que as características são mais gerais que os hábitos, quer em relação às situações em que intervêm, quer em relação à variedade das respostas que dela dependem. As características podem ser definidas como o resultado da combinação de dois ou mais hábitos.

No que diz respeito à distinção entre característica e atitude, para Allport ambos os conceitos se referem a predisposições para responder, ambas podem ser peculiares a um certo indivíduo, ambas podem iniciar ou guiar o comportamento, ambas dependem quer de factores genéticos quer da aprendizagem, mas, a atitude está ligada a um objecto específico ou a uma classe de objectos, o que não acontece com as características. A generalidade da característica é quase sempre maior que a da atitude; a atitude pode variar no que concerne ao grau de generalidade, desde uma elevada especificidade, até uma relativa generalidade. Por outro lado, a atitude implica geralmente a valorização (aceitação ou rejeição) do objecto em relação ao qual é dirigida, o que não acontece em relação à característica.

Tanto a atitude como a característica são conceitos indispensáveis. Entre eles cabem todos os tipos de tendência de que a psicologia da personalidade se ocupa. Geralmente, a designação atitude deveria ser usada quando a tendência está ligada a um objecto com valor, isto é, quando é despertado por uma classe de estímulos bem definida, e quando o indivíduo sente para com esses estímulos uma atracção ou repulsa bem definidas.

Personalidade, Carácter e Temperamento

Para Allport personalidade é a organização dinâmica dentro do indivíduo, dos sistemas psicofísicos que determinam os seus ajustamentos ao ambiente.

A designação "Organização dinâmica" é usada com o fim de salientar o facto de que a personalidade está constatemente em desenvolvimento e mudança, embora ao mesmo tempo haja uma organização ou sistema que une e relaciona as várias componentes da personalidade. Psicofísico, pretende exprimir que a personalidade não é exclusivamente neural. A organização "implica a operação do corpo e da mente inextrincavelmente fundidos numa unidade pessoal". "Personalidade é o que está por detrás de actos específicos e dentro do indivíduo".

Para Allport a personalidade não é meramente um constructo do observador, nem qualquer coisa que só existe quando também existe uma outra pessoa a quem reagir - A personalidade tem uma existência real envolvendo fenómenos neurais ou fisiológicos. Um outro importante elemento do Conceito de Personalidade de Allport é o grande ênfase dado àquilo que faz com que cada ser humano seja único.

Para Allport o "Temperamento" diz respeito aos fenómenos característicos de natureza emocional individual, incluindo a sua susceptibilidade à estimulação emocional as características de intensidade e rapidez dessas respostas, o humor predominante, o seu modo de oscilação e a sua intensidade.

Estes fenómenos são considerados por Allport como dependentes da estrutura constitucional e portanto basicamente como hereditários. Temperamento está ligado a determinantes biológicas ou fisiológicas que sofrem pouca modificação com o desenvolvimento. A importância da hereditariedade seria maior neste do que noutros aspectos da personalidade.

O Proprium

Allport sugere que todas as funções do Eu que foram descritas sejam chamadas funções "proprieate" da personalidade.

Essas funções incluem o sentido do corpo, a identidade do Eu, a auto-estima, a extensão do Eu, o pensamento racional, a imagem do Eu, a função do conhecimento (propriate thinking).

Em conjunto poderiam corresponder ao proprium. É nesta região da personalidade que se encontra o núcleo de relações de que dependem as características relativamente invariantes no tempo, das atitudes, intenções e juízos de valor.

Note-se no entanto, que o proprium não é considerado como inato, mas pelo contrário como desenvolvendo-se no tempo.

Esta curta exposição de alguns pontos de vista sobre o conceito de personalidade, em que este é tomado como uma estrutura que embora seja variável no tempo, não pode ser explicada por um simples jogo de adaptações e mecanismos cognitivos e de aprendizagem.

A sua transposição para a linguagem dos modelos da personalidade como um sistema de coordenadas de referência em que se projectam funções de todas as características da vida psíquica de um indivíduo, poderá ser a de orientar a investigação num sentido que conduza à resposta sobre certas perguntas básicas que se põem em relação aos indivíduos normais e ainda aos atingidos por perturbações psíquicas.

Ao definirmos a personalidade como estrutura global de todas as características que nos permitem definir o modo de ser de um indivíduo — o seu comportamento, reacções afectivas, tipo de pensamento, modo de comunicação inter-pessoal, normas e valores, imagem de si próprio — estaremos a referir-nos a uma estrutura global e relativamente invariante no tempo. Quer dizer, embora haja modificações devidas à interacção com o ambiente, mantém-se a identidade do indivíduo.

MODELO ESTRATIFICADO DA PERSONALIDADE

Na teoria de Barahona Fernandes^{157, 159, 160}, a Personalidade surge como uma estrutura em que os vários níveis — o orgânico, o biológico, o anímico e o espiritual — estão integrados, com complexas relações entre os vários componentes. Por um lado, os processos biológicos, a constituição, os processos perceptivos, o humor, as emoções e os afectos em geral, a memória, a atenção, a inteligência, podem ter características individuais que diferenciam o indivíduo dos restantes. Por outro, nas adaptações ao ambiente, principalmente ao socio-cultural, manifestam-se naquilo que Barahona Fernandes designa de espírito pessoal — o conjunto de normas e valores, os conhecimentos acumulados sobre a inter-relação com o ambiente, principalmente do ponto de vista inter-pessoal. Para Barahona Fernandes existe uma estrutura de base que inclui a corporalidade, o fundo endotímico vital e a vigilância e além disso, as super estruturas pessoais, que incluem o carácter, a inteligência e o espírito pessoal. Além da estrutura da consciência, Barahona Fernandes distingue o Proprium que é definido como o núcleo central da personalidade em torno do qual se organiza o conjunto de todas as estruturas e sistemas.

A proposta constitui uma síntese extremamente interessante, e que nos põe problemas no que respeita uma transposição para o nosso ponto de vista, principalmente no que diz respeito a duas noções — a de diversidade categorial quando se passa de uma camada para outra e, aos níveis anímico e espiritual, a substituição da noção de explicação causal pela de compreensibilidade em sentido psicológico.

As diferenças quanto às noções de Fundo Endotímico Vital, de Corporalidade ou de Consciência não são essenciais e é possível encontrar um equivalente para elas na teorização que fizemos.

Em relação às duas primeiras não nos parece possível harmonizar os dois pontos de vista — as diferenças ontológicas poderão efectivamente existir ao passar-se de uma categoria para outra, mas esse não é um problema propriamente científico mas filosófico, no sentido de que não é por aplicação do método científico que poderemos ter esperança de encontrar resposta para essa questão.

A metodologia científica apenas permite julgar da adequação dos conceitos à explicação dos dados experimentais, mas não nos diz como são as coisas em si.

Em relação ao segundo problema, o da necessidade de substituição da explicação causal pela de compreensibilidade psicológica, ele assenta sobre uma demonstração de impossibilidade, extremamente difícil de fazer, e efectivamente ainda não realizada.

Julgamos que eliminámos estas dificuldades quando interpretámos o funcionamento neuronal – logo no início do nosso estudo do ponto de vista dos modelos – como um processo biológico e ao mesmo tempo como um processamento de informação. Se isso for aceite, toda a construção anterior encontra a sua justificação e é possível descrever, desse ponto de vista, os instintos, as emoções, as motivações, os afectos em geral, os processos de condicionamento, os processos perceptivos.

Igualmente se pode construir uma teoria para os processos cognitivos e para a linguagem, sem que tenhamos de prescindir dos conceitos de intenção, de significação referencial, significação semântica e de consciência reflexiva. Acabámos de ver como a imagem do Eu pode ser interpretada, na sua expressão factorialista, por um conjunto de processos neuronais. Isto é, embora não se pretenda provar que a imagem do Eu é efectivamente obtida por essa forma, fica provado que existem estruturas neuronais formais capazes de fazerem as operações de correlação, e através das equações Pseudo-Booleanas, de realizar a descrição implícita nessa Imagem, a um nível lógico. É possível então uma transposição imediata para uma expressão cognitiva ou verbal.

A definição de personalidade a que aderimos, é obtida por construção sucessiva a partir dos processos elementares e das relações entre eles, formando sistemas sucessivamente mais complexos, até se atingir a especificação de todos os processos elementares, conjuntos de processos elementares, etc., até ficarem especificados todos os dados que nos permitam a compreensão científica de um indivíduo.

A tentativa de interpretação que faremos em relação às perturbações psíquicas, servirá para exemplificar os tipos de relações entre os processos psíquicos, desde os mais elementares aos mais complexos, que conduzem a modificações globais que se podem exprimir por perturbações mais ou menos graves da personalidade. Por outro lado, procuraremos estabelecer um conjunto de relações entre os vários sintomas e os processos psicológicos, quer considerados isoladamente quer organizados numa estrutura hierarquizada.

Capítulo XX

Tentativa de Estudos de Alguns Problemas Psiquiátricos do Ponto de Vista dos Modelos

Uma das consequências básicas dos resultados que apresentámos anteriormente, é que, não só o ponto de vista clássico organicista, em Psiquiatria pode ser representado na sua forma mais extrema, como igualmente o ponto de vista psicodinâmico, submetido, bem entendido, às limitações impostas pela consideração dos diferentes processos, em outras correntes da Psicologia.

A similaridade entre as designações usadas na formulação de alguns problemas psiquiátricos que fazemos a seguir, e as que correspondem ao ponto de vista adoptado numa teoria de camadas como a de Barahona Fernandes que nos serviu de inspiração e foi o nosso ponto de partida, ou uma concepção "organo-dinâmica" como a de Henri Ey, deve ser interpretada tendo em conta todas as transposições para os modelos que construímos ao longo dos capítulos anteriores.

Uma segunda característica da formulação que se vai seguir é que pode ser imediatamente transposta para uma linguagem formalizada.

Em terceiro lugar, a essa versão formalizada corresponderá um conjunto de redes capazes de representarem os processos que são descritos. É possível falar a respeito desses processos, (1) de uma medida de informação, em sentido estrito e não metafórico, como é corrente, e (2) de redes que lhes correspondem, consideradas como constituindo um sistema cujo comportamento pode ser descrito, quer sob a forma de equações Pseudo-Booleanas, de operações definidas em Corpos de Galois ou de operações lógicas do cálculo proposicional.

A teoria das redes de que dispomos neste momento permite calcular os ciclos de oscilação, os estados estáveis do sistema, a sua controlabilidade, a partir da definição das suas especificações.

A concepção que vamos expor de maneira abreviada, pressupõe uma interpretação sindromática que, tal como a de Barahona Fernandes,¹⁵⁸ é feita a partir de um sistema relacional estruturado em conjuntos sucessivamente mais complexos. Não só os mecanismos instintivos, os mecanismos básicos de aprendizagem e de percepção são interpretados a um nível neuronal, como ainda as funções simbólicas. Para isso construímos uma teoria de referência para as redes, um sistema de reencontro da informação, uma representação de intencionalidade e uma definição de significação que toma em conta o ponto de vista dos modelos linguísticos. Não fazemos no entanto a distinção ontológica entre as características do orgânico, do vital, do anímico e do espiritual, da teoria de Nicolai Hartmann, que correspondem a uma tomada de posição filosófica. A transposição de uma teoria para a outra é imediata, excepto nesse aspecto, como não podia deixar de ser, dado que ambas são baseadas numa experiência clínica e nos dados científicos que satisfazem os critérios de validade de que podemos dispor, e ainda como já dissemos, por a formulação presente se basear na de Barahona Fernandes.

Entramos agora num exame mais detalhado da estruturação em níveis hierarquicamente ordenados, cada vez mais complexos.

Nos modelos que apresentámos, uma alteração por exemplo dos mecanismos instintivos, por perturbação do funcionamento neuronal a esse nível, dará origem a comportamentos novos. Ao nível dos reflexos condicionados esses comportamentos serão ligados a outros estímulos e a qualidade peculiar desses mecanismos perturbados, pode dar origem a novos modos de integração com dados perceptivos e estruturas de comportamento.

Ao nível perceptivo, as perturbações instintivas básicas, os dados afectivos, as reacções comportamentais alteradas, darão um contexto anormal aos dados sensoriais. Ao nível dos processos de memória provocarão um acesso a memórias diferentes, como se pode concluir a partir do modelo de localização e reencontro de informação que apresentámos. No que concerne às decisões de acção, esse conjunto, cada vez mais complexo, de perturbações elementares e relações entre elas, formará um contexto ou dará mesmo origem a que os processamentos ocorram de um modo diferente do normal, levando a formas anormais de conduta. Ao nível dos afectos mais complexos, as perturbações instintivas básicas poderão dar lugar a formas novas de afectos e de motivações. Poderá também originar formas de comportamento para as quais o paradigma mais adequado será o das reacções em vazio dos etólogos, que tendem a uma redução dos estados de desequilíbrio do sistema a um estado estável, mesmo na ausência de estímulos desencadeantes desses novos comportamentos. Ao nível das simbolizações, as perturbações mais básicas contribuirão para distorcer a imagem interior do mundo externo que se exprime na formação de conceitos alterados.

Estas modificações poderão ainda repercutir-se em conjunto no sistema projectivo com que definimos a imagem do "Eu" e alterar as relações inter-pessoais.

Uma alteração primariamente afectiva, terá repercussões a todos os níveis, de maneira em parte análoga à que acabámos de discutir, mas podendo agora exprimir-se de maneira positiva ou negativa do ponto de vista quantitativo, ou de maneira qualitativa sobre os mecanismos para cujo controle e comando contribui. Por outro lado, irá exercer influência sobre as decisões tomadas nas estruturas operacionais situadas a um nível mais complexo na hierarquia das funções nervosas, na medida em que a informação com que contribue para essas decisões está alterada em comparação com o normal.

Por sua vez uma perturbação primeiramente cognitiva modificará a capacidade operatória, no sentido de reduzir a eficácia das adaptações e dará lugar a uma desdiferenciação e uma baixa do nível atingido por essas operações. Por outro lado surgirão mecanismos mais básicos como principais responsáveis pelas condutas adaptativas, e novos modos de organização a esses níveis.

Foi neste mesmo sentido, que as operações psicológicas normais mais elementares foram discutidas, no contexto dos processos cognitivos, como correspondendo a uma análise do problema, em que se considerava que os operadores de nível mais elevado não estavam em funcionamento, permitindo a ocorrência dos mecanismos adaptativos mais elementares, de maneira não integrada no processo cognitivo.

No caso patológico não se trata de uma simples liberação de estruturas inferiores mas de novas formas de organização funcional, com formação de novos modos de relação entre os processos aos vários níveis.

Poderá haver alteração das operações cognitivas relacionadas com a consciência reflexiva no seu conjunto, que terão consequências análogas às do caso anterior, mas mais extensas.

Por outro lado, alterações primariamente do sistema projectivo de que depende a imagem do Eu, poderão dar lugar não só a vivências anormais como ao desenvolvimento de novas formas de coordenação de funções. Estas novas formas de coordenação global poderão também influenciar as relações inter-pessoais. A organização das estratégias de nível elementar que está dependente dos esquemas coordenadores mais elevados será perturbada, formando-se novos modos de conduta.

Ao lado dos comportamentos patológicos dependentes das funções mais com-

plexas, poderão existir também alterações elementares dos sistemas de comando e controle da motilidade. É neste sentido que poderão ser interpretadas algumas das perturbações motoras da Esquizofrenia ou da Psicose da Motilidade.

Uma interpretação análoga poderá ser aplicada às perturbações patológicas da linguagem, que se observam com alguma frequência em certas formas de Esquizofrenia. Ao lado das perturbações da linguagem que dependem das modificações patológicas dos processos cognitivos, de formação de conceitos e de planeamento da conduta, e da atitude relacional do Eu para com as outras pessoas, haverá, ainda que geralmente de maneira transitória, perturbações sobreponíveis às que se observam em certas formas de afasia, principalmente do tipo de Wernicke.³⁶⁶

É interessante notar, no que se refere ao uso da linguagem nas relações inter-pessoais, que a linguagem dos esquizofrênicos parece ser empregue mais de um modo pessoal e idiossincrásico para exprimir um modo de ver individual sobre os problemas, do que para uma comunicação inter-pessoal em que pode até ser difícil interessá-los.

Esta alteração do uso da linguagem, que dificulta a acessibilidade a uma redução das ideias e interpretações erradas por persuasão, tem analogias com as verbalizações e o pensamento autístico infantil, descrito por Piaget. Também nesse caso a linguagem é usada sob a forma de um monólogo que serve à criança para exprimir os seus próprios pensamentos apenas num sentido pessoal reflexivo, e não especificamente dirigido para a comunicação com outrem. A falta de acessibilidade das ideias delirantes à correcção por comunicação verbal tem o seu paradigma nas experiências de Luria, em que se verificou a grande dificuldade, ou mesmo a impossibilidade, de obter a mudança na "atitude para a tarefa" das crianças, depois destas já terem iniciado a sua execução.

Todos os tipos de perturbação biológica devem ser entendidos como o resultado de factores orgânicos ou fisiológicos cuja acção se faz sentir através dos mecanismos de filtragem que é exercida pelas estruturas de nível mais elevado, que têm modos de organização próprios, do tipo dos descritos nos modelos dos diferentes processos psicológicos.

Quer dizer, na Esquizofrenia, uma perturbação provocada por uma reacção auto-imuno-alérgica, ou uma alteração do metabolismo dos glúcidos ou das proteínas, etc., dependeria não só da localização da perturbação e da função fisiológica imediatamente atingida, mas da função psicológica, no sentido de o processamento da informação, desempenhada por essa estrutura estar também modificado. A alteração metabólica local dá origem a uma perturbação do processamento de informação, que se vai repercutir sobre os outros processamentos que dela dependem, segundo leis de organização de que os modelos neuronais dão o paradigma.

Estes tipos de alteração têm, não só um aspecto estático como acabamos de exemplificar, como, além disso, um aspecto temporal, na medida em que influenciam a aquisição de informação, e as decisões de acção a partir do momento em que começam as perturbações.

Esta progressiva acumulação de informação "anormal" poderá ser a causa de que em certos casos só mais tarde venham a ocorrer alterações psicológicas circunscritas ou pelo contrário extensas, e que podem chegar a conduzir ao desenvolvimento de novas formas de relação inter-pessoal.

Nesse aspecto, os efeitos das perturbações orgânicas têm analogias com os das perturbações que dependem da experiência passada, isto é, da informação adquirida na transacção com o mundo externo em geral, e mais especialmente na comunicação inter-pessoal. Note-se, na medida em que os processos afectivos são processados em estruturas neuronais e dependem de processos de regulação nervosa, que eles são mais adequadamente descritos como processamentos de informação do que como acumulação ou libertação de energia. Será portanto sob este aspecto informático que deverão ser analisados os mecanismos ditos psicogenéticos, a que são atribuídos certos tipos de perturbação nervosa.

A importância das reacções afectivas ou das motivações, vista sob o ângulo que propomos, pode dizer respeito mais ao papel que porventura essa informação

possa ter nas decisões, do que no carácter agradável ou desagradável, subjectivo, das vivências, que são as suas expressões a nível consciente.

No entanto, mesmo em relação às neuroses, é provável que haja alterações da estrutura operacional do S.N.C. que constituem o facto de que dependerá, em muitos casos, a rapidez com que se estabelecem certas formas anómalas de adaptação, ou serão mesmo um factor determinante importante destas perturbações que aparentemente estariam apenas relacionadas com uma experiência vivencial.

Ainda no que concerne às perturbações, quer das relações inter-pessoais, quer de reacções elementares, condutas, afectos, conceptualizações, atitudes, que resultam da aquisição de informação desviada do normal, por interacção entre o indivíduo e o meio, o período de maturação que decorre entre o nascimento e o fim da adolescência é o mais decisivo. É então que se estruturam os esquemas globais de comportamento, os esquemas das operações intelectuais e das reacções afectivas, e a integração destas estruturas com as normas sociais, de acordo com os modelos que o indivíduo explícita ou implícitamente tenta imitar.

A interacção depende dos processos de maturação, não só na medida em que as relações inter-pessoais são diferentes conforme o estágio de evolução, como ainda pela fixidez que resulta do armazenamento dessa informação, sob uma forma estrutural, ser provavelmente facilitada pelos mecanismos de maturação nervosa, como é sugerido pelas observações etológicas.

Além disso, as alterações dos processamentos elementares de informação devem ser entendidos, de maneira análoga ao que propusemos atrás, como filtrados por estruturas relacionais que variam no tempo de acordo com a experiência passada do sistema, isto é, conforme a informação acumulada na memória.

Uma dada conduta do adulto, que exprime uma perturbação dos processos psíquicos, pode resultar ou de uma alteração orgânica ou funcional dos operadores neuronais, que vai ocasionar uma modificação das decisões, ou, pelo contrário, essas modificações dependem apenas do contexto constituído por uma informação, desviada do normal, acumulada na memória.

Ao formularmos o problema deste modo, aparentemente, estaríamos apenas a repetir a opinião mais corrente em Psiquiatria que é a de haver uma dualidade de origem para as perturbações psíquicas — a génese psicológica e a biológica.

A aceitação desta formulação disjuntiva tradicional não é, no entanto, forçosa. A hipótese que propomos é conjuntiva, no sentido de que as perturbações psíquicas são perturbações do processamento de informação. Nuns casos o processamento de informação é anómalo devido aos efeitos contextuais da informação acumulada na memória (génese psicológica), noutros, a alteração resulta de a alteração orgânica ou funcional modificar a função lógica realizada pelos operadores ou conjuntos de operadores neuronais (génese biológica). Noutros casos ainda, a perturbação do processamento de informação reflectirá ambos os tipos de mecanismo.

A justificação das interpretações que vamos apresentar deve procurar-se, em primeiro lugar, nos modelos que descrevemos em relação à vida psíquica normal.

Aparentemente, as diferenciações que fizemos, afastam-se pouco das adoptadas convencionalmente em Psiquiatria clínica. No entanto, a interpretação neuronal que aplicámos sistematicamente, implica um desvio, do ponto de vista da significação, em relação às mesmas designações ou a definições equivalentes, quando usadas nas teorias fisiológicas e psiquiátricas mais conhecidas.

Na breve exposição que vai seguir-se, a interpretação dos termos empregados será feita com referência aos modelos anteriormente apresentados. Se é possível atingir o nível de ambiguidade que é patente, isso só significa que os modelos são um meio poderoso, suficiente não só para exprimir o que o psiquiatra sabe sobre os doentes que trata, como ainda o que o neurofisiologista ou o psicólogo conhecem a partir do uso de métodos mais rigorosos ou mais avançados.

Ficam assim atingidos dois objectivos — por um lado interpretam-se os conceitos psiquiátricos tendo em conta os dados da neurofisiologia e da psicologia normal, e, por outro, atinge-se um nível de rigor suficiente para se poder passar ao estágio de formalização dentro de um cálculo.

A justificação das interpretações referentes às perturbações psiquiátricas não foi apenas procurada nos numerosos dados dispersos na literatura — desde os registos da actividade dos núcleos do Septo em esquizofrénicos, aos estudos encefalográficos de Huber, aos estudos anatómicos de Vogt, Treff e Hempel,^{631,632} aos dados resultantes dos estudos sensoriais de H. L. Teuber,⁶¹⁷ aos potenciais evocados de Shagass,⁵⁸⁶ às correlações com a Epilepsia encontradas por Slater,⁵⁹⁶ aos dados sobre o "psicoticismo" de Eysenck,¹⁵⁴ ao modo peculiar da organização perceptiva no teste de Rorschach estudada por Minkowska,⁴⁷⁹ aos estudos sobre a linguagem dos esquizofrénicos feitos por Kleist,³⁶⁶ aos estudos sobre as perturbações dos processos cognitivos feitos por Vigótsky,⁶⁴⁹ por Hanffman e Kasanin,³⁵⁸ aos estudos sobre a constituição, de Kretschmer³⁸⁷ e Conrad, aos trabalhos sobre a hereditariedade feitos por Rudin, Luxemburger, Kallmann, Slater e outros, às correlações com a epilepsia temporal feitas por Gibbs e Gibbs,²¹² aos estudos sobre as psicoses modelo provocadas pela LSD ou pela Psilocibina, aos efeitos das drogas e também aos estudos sobre as condições ambientais em que decorreu a maturação da personalidade, o tipo peculiar das relações que estes doentes estabelecem, as perturbações da estrutura do Eu que são determináveis em testes como o MMPI.

Quanto à importância relativa dos vários factores, no lugar próprio se fará uma valorização relativa, quer explícita, quer implícita. É no entanto importante fazer notar desde já que o esquema é suficientemente amplo para englobar num sistema único, as alterações estruturais (orgânicas) e as perturbações devidas aos efeitos contextuais da informação acumulada na memória. Igualmente a teoria dos sistemas dispõe de instrumentos adequados para estudar as redes assim definidas não só de um ponto de vista estático como ainda a sua evolução no tempo.

Vamos mostrar que o método dos modelos e dos novos conceitos que surgiram no decurso da investigação cibernética, trazem uma contribuição para a compreensão de numerosos problemas que pertencem ao domínio da Psiquiatria.

A possibilidade de usar o método dos modelos foi explicitamente mencionada no artigo original de McCulloch e Pitts. A tentativa de usar os conceitos cibernéticos no estudo, por exemplo, do papel das emoções, teve consequências muito limitadas, dada a imprecisão com que os conceitos foram usados e a falta de uma teoria devidamente estruturada. Muitos dos problemas que surgem quando se tentam estruturar as relações entre os dados de observação e de estudo, num sistema teórico adequado, deparam com dificuldades que são consequência do uso dos esquemas conceptuais clássicos. Muitos desses problemas desaparecem quando se passa à representação em modelo, ainda que existam numerosos pontos ainda por resolver.

Acentuamos, no entanto, que é já possível integrar num esquema único de explicação, a génese das doenças que (1) dependem predominantemente de factores psicológicos e ambientais e que se enlaçam com a evolução da personalidade no decurso da adaptação do indivíduo ao ambiente e especialmente ao grupo social a que pertence e (2) das doenças que representam uma expressão de perturbações da estrutura e do modo de funcionamento do S.N., ou ainda (3) da conjunção destes factores com anomalias geneticamente determinadas.

A melhor compreensão destes problemas, acompanhada pelo progresso no conhecimento, do ponto de vista experimental, do modo de funcionamento do S.N. e dos locais e mecanismos de acção dos psicofármacos, viria a permitir uma atitude terapêutica mais realista e baseada numa predição científica dos resultados.

Trata-se, no entanto, de um programa de investigação cuja realização dependerá de esforços de investigação que terão de ser prosseguidos durante tempo ainda imprevisível.

O nosso projecto não é neste momento o de tentar uma transposição detalhada da teoria psiquiátrica para a linguagem dos modelos, mas apenas o de (1) considerar alguns problemas relacionados com o conceito de significação psicológica (2) tentar uma classificação unificada das perturbações que caracterizam algumas das mais frequentes doenças psiquiátricas.

SIGNIFICAÇÃO PSICOLÓGICA

A introdução, ao nível dos processos neuronais, do conceito de significação referencial, permite um entendimento das relações psicofísicas entre, por um lado, os processos neurofisiológicos, definidos por sucessões de estados dos elementos neuronais descritos ao nível biofísico, que dependem das configurações de estímulos do Meio Externo e do Meio Interno, e por outro da sua significação como mensagens que transportam uma informação. Esta significação referencial depende da informação acumulada na memória e do contexto dos processos nervosos que definem o estado afectivo do sujeito.

Na análise dos processos perceptivos, dos processos cognitivos e dos processos afectivos de nível mais elevado, surgiram sistemas relacionais de que dependia a construção do modelo interior do mundo externo, ou o planeamento de esquemas de acção. Alguns desses processamentos cognitivos e processos afectivos atingiam o nível das relações inter-pessoais e envolviam os conceitos de norma e a apreensão da estrutura do grupo social a que o indivíduo pertence, e eram integrados na imagem reflexiva do Eu.

Nessa discussão introduzimos o conceito de consciência como um conjunto não interpretado de relações entre conjuntos de processos elementares. A implicação fundamental desse modo de tratamento do problema, consiste no facto de ser possível, em princípio, construir modelos do modo como os seres humanos processam o conhecimento reflexivo de si próprios e dos processos que representam o mundo externo, e que podem ser usados para tomar decisões de acção, eficazes e adequadas.

Desde que os operadores neuronais sejam interpretados como operadores lógicos o problema da significação psicológica cinge-se (1) no problema de significação referencial e semântica, que já considerámos, em relação com os processos cognitivos, e (2) na característica peculiar do fenómeno subjectivo, de o sujeito se assistir a si próprio a sentir, a perceber, a pensar ou a agir e a ser capaz (a) de estruturar conjuntos relacionais a que corresponderiam diversos modos de apreensão da realidade, (b) de optar ou escolher entre eles, ou (c) de tomar distância quer em relação a actos que pratica, quer em relação à representação que julga mais adequada para os actos ou situações passadas.

Os estudos evolutivos de Piaget mostram como as estruturas cognitivas se vão constituindo, e a diversidade de esquemas deste nível de que o sujeito dispõe. A reinterpretção dos dados psicanalíticos e a consideração de outras linhas de investigação sobre a evolução dos afectos no homem, permitirão obter uma imagem coerente de como se estruturam o humor, as emoções e os afectos mais diferenciados ligados às motivações, às atitudes e às relações inter-pessoais.

A observação psicológica permite definir uma estrutura que caracteriza o próprio, e que corresponde a conjuntos de relações invariantes sob grupos de transformações a que o sujeito vai sendo submetido no decurso da sua vida. As perturbações de que o sujeito nos dá conta pela sua comunicação verbal ou usando os símbolos naturais ou convencionais da comunicação social, são, por assim dizer, "filtrados" por estas estruturas.

A natureza da própria situação de comunicação implica que sejam usadas as estruturas relacionais ou (1) inter-pessoais, ou (2) com os objectos do mundo externo, a que correspondem núcleos de estratégias comuns à maior parte dos seres humanos. É neste quadro de referência que deve discutir-se o problema da significação psicológica, tal como ele é entendido pela Escola de Heidelberg.^{334, 579}

As experiências que cada pessoa tem destes tipos de relações permitem-lhe a compreensão de quais são as estruturas análogas que estão perturbadas nas pessoas com quem lidam, mas não são suficientes para explicar porque surgiram as alterações.

No caso extremo das psicoses devidas a perturbação orgânica, metabólica, infecciosa ou degenerativa, rompe-se onexo da compreensibilidade psicológica. Sur-

ge algo de novo para o qual não encontramos um paradigma na nossa experiência do normal.

A análise mais detalhada desta situação mostra-nos no entanto que, pelo menos em grande número de casos, é possível determinar quais as regiões lesadas e correlacionar essas alterações com a expressão sindrômica clínica. Existindo modelos de como, por alteração dos operadores elementares e de conjuntos desses operadores, pelo menos em casos limites (a partir dos quais se podem fazer extrapolações) se modificam as relações de referência e significação, é então possível, em princípio, introduzir uma modificação no nosso sistema de compreensão dos actos do sujeito submetido a observação, de tal modo que os seus actos ou a sua comunicação, se tornam compreensíveis no novo esquema de referência assim construído, por assim dizer, por uma transformação de coordenadas. O conhecimento das modificações nas operações elementares dos elementos ou conjuntos de elementos do S.N., ao longo da estrutura hierárquica da sua organização, permitiria uma compreensão referencial completa, entre os objectos ou situações do mundo externo e os processos nervosos que lhe correspondem (1) ao nível das operações elementares, (2) dos processos perceptivos, (3) afectivos e (4) cognitivos, (5) ao nível de noção reflexiva do Eu ou (6) dos conjuntos relacionais que servem de referência para as relações inter-pessoais ou para a adaptação às normas sociais ou culturais características do grupo a que o sujeito pertence.

Ao contrário do que se passa com as psicoses de demonstrada base somática, em relação à Esquizofrenia, à Psicose Maníaco Depressiva ou às Psicoses Ciclóides existem problemas resultantes de não serem conhecidas as perturbações somáticas que pertencem ao conjunto de factores determinantes do aparecimento dos sintomas. A análise dos sintomas permitirá no entanto saber a que níveis de organização se situam essas alterações. Serão portanto possíveis inferências sobre a sua base somática ou sobre a sua determinação relacional ou ainda a importância dos factores de nível mais elevado.

Nas perturbações designadas genericamente de neuróticas, o problema da compreensibilidade apresenta também dificuldades mas é geralmente aceite que se trata de situações em relação às quais existe compreensibilidade psicológica. No entanto, o aparecimento de perturbações psíquicas (1) em situações de desequilíbrio do Sistema Endócrino ou (2) em épocas de desarmonia dos sistemas instintivos ou pulsionais básicos, ou (3) a existência de perturbações deste tipo em doentes que sofreram lesões traumáticas ou infecciosas, ou (4) a sua ocorrência em epilépticos, deveria levar a um re-exame desta noção de compreensibilidade das perturbações neuróticas no sentido de Jaspers. Essa compreensibilidade só existiria nos casos em que sem uma desarmonia das suas funções, determinada geneticamente ou resultante da evolução biológica ou de uma agressão física, por simples efeito das situações de transacção com o ambiente, são adquiridos modos de adaptação à realidade desviados do padrão aceite como normal numa dada cultura, e que se acompanham de sofrimento e de sentimento de doença. Em geral estes factores intervêm também, e a compreensibilidade só existe em relação ao esquema de referência em que essas alterações são tomadas em conta e, nesse caso, é inteiramente sobreponível ao conceito de explicação científica.

SÍNDROMES CLÍNICAS DA EPILEPSIA

Ao analisarmos o problema da Epilepsia depara-se-nos uma situação invulgar no domínio da Psiquiatria — nomeadamente é a única doença psiquiátrica em que se demonstraram perturbações fisiológicas comprovadas pelo registo directo do funcionamento cerebral, cuja correspondência com os sintomas psíquicos está bem esclarecida.

Assim, analisando as perturbações mais elementares, vemos que descargas epilépticas na área visual primária dão lugar a falsas percepções visuais elementa-

res com o aparecimento de formas simples ou manchas coradas, enquanto que às descargas nas áreas visuais associativas correspondem falsas percepções mais complexas, por vezes com imagens deformadas, ou com o tamanho aumentado ou diminuído em comparação com as dimensões com que os objectos a que se referem essas percepções surgem na experiência psíquica normal.

Descargas na área motora primária dão lugar a convulsões focais, localizadas a um ou a vários segmentos de um membro; descargas na área de sensibilidade somática acompanham-se de falsas percepções referidas a partes do corpo; se as descargas se localizam em zonas de projecção olfactiva ou gustativa surgem falsas percepções dessas modalidades sensoriais. Descargas na área acústica primária fazem com que ocorram fenómenos auditivos elementares.

Se a zona atingida for a área de comando da expressão verbal podem surgir vocalizações sem significação ou pelo contrário fenómenos de afasia motora transitória, conforme a zona atingida.

Se as descargas ocorrem no lobo temporal, atingindo zonas que têm sob o seu controle os mecanismos de regulação vegetativa e das pulsões e das motivações básicas, observam-se auras constituídas por uma vivência de intensa angústia ou pelo contrário de extremo bem-estar ou de felicidade. Como no lobo temporal há a convergência de processamentos visuais, acústicos e ainda de sensibilidade somática, observam-se por vezes auras extremamente complexas semelhantes a um estado de sonho com perturbações dismnésicas descritas sob a designação de "memória panorâmica", ou impressões de estranheza ou de "já visto" ou "nunca visto" em face a configurações de estímulos.⁶⁷¹ Por outro lado nesta forma de epilepsia é frequente que o doente, durante os períodos de perda de conhecimento, pratique actos, desde automatismos simples e isolados até comportamentos complexos,⁴⁸ por vezes numa sucessão ordenada e que no limite podem ser muito semelhantes aos comportamentos normais, que ocorrem geralmente fora do contexto, mas que podem, pelo contrário, surgir de maneira adequada à situação, ainda que o indivíduo não conserve depois qualquer recordação.¹⁹⁷

Quando a descarga atinge o S.R.A.A. têm lugar episódios de perda de consciência e se o S.R. descendente é também atingido observam-se espasmos tónicos e convulsões clónicas generalizadas.

Sem pretendermos fazer uma lista exaustiva, estes exemplos mostram como perturbações psíquicas características surgem relacionadas com perturbações fisiopatológicas elementares^{315, 532, 533}

Perturbações de consciência suficientemente intensas para que o sujeito não possa depois prestar testemunho dos actos que pratica, acompanham-se por vezes de condutas complexas e de estados de intensa excitação psicomotora. Estes estados podem seguir-se a crises com perda de consciência acompanhada de convulsões, ou a crises com automatismos psicomotores, ou pelo contrário podem eles próprios responder a crises prolongadas como no caso do "Estado de Pequeno Mal".

É interessante que, em certo número de casos, se observa uma baixa de rendimento intelectual, uma deterioração das funções cognitivas,⁵⁵¹ uma diminuição da capacidade de fixação ou de retenção na memória, e ao mesmo tempo, uma perturbação permanente dos afectos com baixo limiar para as reacções agressivas³⁸⁷ ou de cólera e uma componente emocional de ansiedade, que se exprimem em muitos comportamentos. A perturbação emocional dos epilépticos com descargas no Lobo Temporal é devida, em parte, à perturbação fisiológica com carácter quase permanente, que é possível registar electroencefalograficamente nos intervalos entre as crises.³³⁷

Além disso, e ainda a este nível de organização, têm importância as crises com perda de consciência, de que resulta uma desorganização de todo o processamento de informação que persiste durante o período em que as funções psíquicas se vão progressivamente reestabelecendo.

As experiências de Morrell⁴⁹⁰ mostraram que mesmo as descargas sub-críticas aumentam a dificuldade em obter reacções condicionadas. As experiências de convulsões provocadas, mostraram que as crises generalizadas perturbam os processos de fixação na memória e possivelmente também de rememoração em relação ao período que antecede essas crises. O sistema de localização e reencontro que propu-

semos, em que o S. Reticular e os mecanismos afectivos tinham um importante papel, pode permitir uma imediata interpretação das perturbações cognitivas e de memória dos epiléticos, na medida em que o S.R. e o Sistema Límbico são frequentemente atingidos pelas descargas.

Os epiléticos vivem numa situação em que em qualquer momento podem sofrer uma perda de consciência sem que disponham de qualquer meio completamente eficaz para impedir que isso aconteça. A estrutura da situação é semelhante à de uma agressão exterior perante a qual o indivíduo reagiria normalmente também de maneira agressiva.

O baixo limiar para este tipo de reacção afectiva será devido a esta circunstância, às modificações afectivas de base,¹²² e à redução da capacidade de realizar adequadamente algumas das operações cognitivas de nível mais elevado que normalmente teriam uma acção inibidora. A persistência deste contexto afectivo tende a fazer com que o doente crie um núcleo de atitudes e de estratégias de comportamento agressivo, que são desencadeadas mesmo por estímulos que não provocariam uma reacção num indivíduo normal. Os estados de permanente motivação emocional darão lugar a condutas emocionais semelhantes às das reacções emocionais "no vazio", semelhantes às "reacções instintivas no vazio" (Leerlaufreaktionen) dos etologistas.

A estrutura da situação de falta de defesa em relação à agressão externa condiciona um afecto ansioso, que é ligado, através da experiência vivencial, com estímulos e situações, exprimindo-se em sintomas neuróticos. A limitação na possibilidade de construir estratégias cognitivas mais adequadas, leva a um sentimento de impotência perante as dificuldades intelectuais.

O predomínio de um afecto que não se liga imediatamente às tarefas concretas em que o doente se ocupa, tendem a impedi-lo de criar um sistema de motivações altamente diferenciado como se encontra nos indivíduos normais; em resultado de uma construção progressiva ao longo da experiência vivencial. A limitação aos processos intelectuais diminui a possibilidade de distanciamento e de tomada de posição em face à necessidade de uso do sistema referencial que permite a opção por tomadas de posição diferentes em situações complexas.

Os afectos intensos, desproporcionados à situação, tendem a dar um patetismo e religiosidade à atitude do sujeito. A incapacidade de adaptação a novas situações, favorece a adopção de uma atitude conservadora, que é característica destes doentes.¹⁵³

A atitude das outras pessoas, protectora e ao mesmo tempo marcando a depreciação, que, para o indivíduo, resulta da sua condição de doente, tendem a dar-lhe uma atitude de humildade, mas carregada de agressividade devido à outra componente afectiva que depende das descargas epiléticas e da situação de agressão exterior.

Ao longo da evolução biográfica o desvio na apreensão do mundo, através de uma percepção carregada de agressividade ou de um sentimento de insuficiência, podem levar ao desenvolvimento de um sistema relacional que permite o aparecimento de reacções paranóides ou de reacções depressivas.

As reacções maniformes ou as psicoses expansivas podem explicar-se com as alterações patológicas dos mecanismos de que dependem os afectos de base ou a entrada em oscilação do sistema de regulação dos afectos.

SÍNDROMES CLÍNICAS DAS PSICOSES ORGÂNICAS

Nas psicoses orgânicas devemos distinguir os síndromes agudos, com perturbação confusional, que depende de alterações do Sistema Reticular do Tronco Cerebral, com perturbações da atenção que dependem do Sistema de Projecção Talamo-Cortical, com alterações sensoriais elementares, com desintegração dos processos perceptivos, com profunda redução do âmbito da memória, alteração dos processos cognitivos, modificações elementares dos afectos que caracterizam no seu conjunto o

síndrome Amencial. Além destas perturbações que correspondem a um nível elementar de análise, estão perturbados os sistemas relacionais de que depende a consciência reflexiva de si próprio, os sistemas relacionais de que depende a tomada de atitude em relação a si próprio e aos outros, e há uma profunda inadequação dos processos de comunicação devido à perturbação das funções ligadas à expressão verbal.

Pelo contrário, nas psicoses orgânicas de evolução crónica, não se encontram tão frequentemente as alterações sensoriais e perceptivas elementares e as alterações da vigiância. As perturbações sensoriais afectivas e dos processos cognitivos ocorrem frequentemente durante a noite, quando a actividade do Sistema Reticular se modifica na passagem do estado de vigília para o estado que antecede o sono ou para o estado de sono, durante a sua oscilação circádica.

Igualmente se encontram perturbações de atenção, mas menos fundas que no caso anterior, e ligadas não só a perturbações do S.R. Talâmico, como ainda a uma modificação dos processos afectivos que depende da alteração do funcionamento do Sistema Límbico, e que vão ocasionar uma perturbação das motivações.

Os processos cognitivos estão fortemente alterados, bem como o acesso à memória, de modo que daí resulta uma inadequação das estratégias cognitivas e comportamentais. Num plano actual, a modificação do contexto devida ao mau funcionamento dos operadores individuais, à desregulação dos afectos, e à perturbação da memória leva à inadequação das estratégias de comportamento, ao imperfeito exame reflexivo, a nível consciente, das alternativas possíveis para a conduta, à inadequada adaptação das atitudes à situação, à imperfeita verbalização na comunicação, que por vezes pode estar ligada a perturbações localizadas no conjunto de certos centros, de que depende a função verbal, ou pelo contrário a uma alteração das funções simbólicas em geral.

Neste caso porém, ao contrário do que se passa nas situações agudas, o carácter permanente de muitas das alterações elementares, leva a modificações das estruturas relacionais que definem o Eu, das tendências predominantes do indivíduo na sua adaptação ao ambiente e ao grupo social, do interesse pelas tarefas pragmáticas e das atitudes perante os outros. As alterações básicas, os erros de juízo e o inadequado processamento de informação, conduzem a ideias erradas que não são corrigidas pela apreensão imediata do mundo exterior. Dá-se então o desenvolvimento de esquemas de comportamento, processos de pensamento, de afectos que correspondem por exemplo a uma relação paranóide com o ambiente que rodeia estes doentes. Noutros casos a alteração primordial dos mecanismos reguladores das emoções, análogo à que ocorre nos síndromes depressivos, pode conduzir a estados de tristeza e a uma modificação do comportamento e, temporariamente, da própria estrutura do Eu.¹⁰

Noutros casos, pelo contrário, o tipo de perturbação do afecto, a situação do indivíduo e a estrutura do ambiente provocam um conjunto de relações que leva a uma atitude expansiva e eufórica. Como alternativa, o embotamento, a falta de reactividade emocional pode conduzir a uma atitude de desinteresse, a uma tomada de posição neutra perante os outros, a uma frouxidão na decisão entre opções possíveis.

Além de todas estas estruturas, as alterações dos mecanismos de memória e dos processos tanto perceptivos como cognitivos e afectivos, dão a estas funções autonomia sobre os dados externos, surgindo um predomínio dos factores contextuais sobre a realidade. A partir destas perturbações mnésticas, cognitivas e afectivas, desenvolvem-se então ideias delirantes e falsas percepções.

SÍNDROMES CLÍNICAS DA DEPRESSÃO

Nos síndromes depressivos de base fisiopatológica autónoma, dá-se uma desregulação dos centros de controle do humor e dos afectos. Por um lado a um nível elementar há uma fixação espontânea num dos extremos da oscilação possível, por outro, torna-se inoperante⁶⁵⁶ a modulação do afecto de base pelos acontecimentos. Os

factores contextuais internos predominam sobre os dados objectivos externos, incorporando-os dentro dos sistemas perceptivos e cognitivos,²³² que são fortemente influenciados pela modificação do afecto.

O indivíduo não consegue ligar a uma situação externa um afecto que não seja de tristeza ou de angústia, e a situação tem tendência a manter-se, dado que não há acesso a uma informação acumulada na memória que não tenha essas características.

Os processos cognitivos são diminuídos pelo forte afecto desagradável que o sujeito sente sempre que o sistema entra em funcionamento activo, ocorrendo então, como único modo de regulação possível, uma tentativa de bloqueio da situação, fugindo o sujeito a todas as estimulações que possam pôr em marcha a sucessão de vivências desagradáveis, que o doente só consegue inibir tomando uma atitude de refúgio numa situação de vigília diminuída que tenta criar isolando-se sensorialmente e não saindo do leito.

A actividade motora não se acompanha de prazer ou satisfação, a actividade não é recompensada senão com o reforço negativo de ansiedade ou de tristeza, o que tende também a limitar qualquer iniciativa.

Os instintos básicos estão alterados. O Eu tem um profundo sentimento de insegurança em face da informação pejorativa que recolhe na imagem dos processos em curso. O sujeito toma a atitude perante os outros que reflecte a sua renúncia a modificar a situação, e manifesta claramente a sua definição desvalorizada de si próprio, de tal modo que a atitude dos outros não possa ser senão de aceitação, ou de um afecto positivo.

Por vezes o sentimento de insegurança e a ansiedade predominam sobre a tristeza, e então esses factores contextuais determinam a interpretação da relação inter-pessoal a uma luz de risco e de ameaça para o próprio, o que conduz a uma atitude de desconfiança com analogia com a que caracteriza os síndromes paranóides.

Em certos casos este conjunto de modificações dependerá apenas de alterações do funcionamento do Sistema Nervoso, sem participação de outros factores. Por vezes, pelo contrário, a situação externa terá sido tão penosa e tão intensa que as componentes perceptiva, afectiva, cognitiva, comportamental, exteriores, bloqueiam todos os factores contextuais actuais diferentes dos implicados pela situação, e impedem a estabilização do sistema de regulação dos afectos numa posição neutra.

O sistema de regulação afectiva oscila então para um dos extremos, concordante com a configuração da situação. Se ocorrer a persistência de uma situação penosa, o seu efeito será amplificado pela oscilação do afecto para um estado de desequilíbrio. No caso considerado, de persistência das características desagradáveis da situação exterior, de cada vez que o afecto oscila espontaneamente ou por um mecanismo de regulação, a situação mantém-se tão penosa que o sistema volta à sua posição extrema.

Os factores contextuais vão-se estendendo no tempo, e o S.N. começa a fazer amostragem na memória, que cada vez contém mais dados tendentes a manter a situação.

Neste caso, porém, ao contrário do que se passa quando a perturbação depende apenas de uma alteração do funcionamento do Sistema Nervoso, a variação da situação externa no sentido oposto faz com que o contexto se modifique, dado que os operadores não estão intrinsecamente ou estruturalmente alterados, e o sistema pode voltar rapidamente à situação de equilíbrio que existia antes da eclosão do processo.

Os sistemas relacionais estão alterados, mas não tão profundamente, o acesso a um contexto depressivo, como não é autónomo, vai trazer sempre informação discordante com a situação actual, o que vai ter um efeito de correcção do estado do sistema. Por outro lado, o Eu sente a situação como não dependendo exclusivamente dele, mas do exterior, e não tem por isso tendência a desvalorizar-se em comparação consigo próprio no passado, mas apenas por comparação com os outros.

Em muitas destas situações, o facto de a situação penosa actual depender de condições externas, conduz a uma atitude agressiva nas relações inter-pessoais, que corresponde a um mecanismo de adaptação, que, a ser eficazmente exercido, tende a libertar o sujeito da situação penosa actual.

SÍNDROMES CLÍNICAS DA MANIA

Nos síndromes maníacos,⁶⁵⁶ de início autónomo, tal como em relação aos síndromes depressivos, a perturbação tem lugar no sistema de regulação do afecto básico, que oscila até ao extremo de um afecto agradável e se fixa nesse extremo. Os factores contextuais, que resultam desse desvio do estado dos operadores, são tão intensos que predominam sobre a informação objectiva colhida na situação actual. A realidade é apreendida de maneira deformada pelo contexto afectivo e pelo acesso às memórias que são seleccionadas na base do afecto positivo.

As actividades motoras, os mecanismos perceptivos, as estratégias cognitivas e adaptativas, recebem um reforço positivo independente do sucesso ou insucesso da situação. Tornam-se por isso mais activos, e os processos de pensamento e a sua expressão verbal perdem a diferenciação normal em que certos processos são favorecidos e outros não. Perde-se por isso a hierarquização e a direcção do pensamento ou das condutas adaptativas.

As estruturas relacionais do Eu, têm uma apreensão da situação influenciada pelo afecto positivo. É maior a vigilância, e o acesso à memória é facilitado. As atitudes nas relações inter-pessoais exprimem a euforia e a predição optimista dos resultados das acções empreendidas. A sobre-estimação das capacidades e das possibilidades de obter resultados positivos, levam a atitudes agressivas, quando haja obstáculos que se oponham à realização dos projectos.

Em certos casos, a situação é apreendida no contexto dos dados autónomos, dependentes da perturbação do funcionamento cerebral, independentes da realidade, e o sujeito toma uma atitude delirante que não é corrigida pela informação do meio externo.

Em certos casos de psicoses post-traumáticas, observam-se síndromes semelhantes a estas, mas em que a perturbação inicial foi induzida por alteração do funcionamento devido ao traumatismo inicial.

Os síndromes maníacos ou depressivos, são neste caso muitas vezes complicados por alterações da vigilância e da integração da experiência vivencial total. A falta de opção entre alternativas de conduta e a falta de factores frenadores dos impulsos instintivos mais básicos, levam a condutas anti-sociais, sempre com um nível menor de diferenciação do que o observado nos síndromes maníacos não sintomáticos.

É interessante notar a assimetria na incidência de síndromes depressivos e maníacos. Nas psicoses endógenas os primeiros são muito mais frequentes que estes últimos. Por outro lado, nas psicoses reactivas a uma situação, os síndromes depressivos são menos frequentes que os síndromes maniformes na nossa experiência.

O mesmo parece não acontecer noutras formas de cultura em que o indivíduo é sujeito a menor inibição. Nos síndromes post-traumáticos também a incidência de ambos é diferente, com predomínio dos síndromes maniformes, o que corresponde à liberação das pulsões instintivas básicas.

SÍNDROMES CLÍNICAS DA ESQUIZOFRENIA

Ainda que seja possível distinguir na esquizofrenia alterações elementares, por exemplo sensoriais,⁵⁶⁷ as modificações do processamento de informação de que depende a avaliação das situações surgem aparentemente apenas ao nível da significação que essas situações têm para o próprio, ou da organização cognitiva^{467,564} a que dão lugar.

As respostas afectivas perdem a fluidez das adaptações que caracterizam a vida psíquica normal e alteram-se do ponto de vista qualitativo. Desdiferenciam-se e tomam uma posição fixa e neutra intermédia que pode, em alguns casos, ser apenas uma aparência exterior que oculta uma retracção nas relações com o mundo ex-

terno, devido a um intenso sofrimento causado pelas menores frustrações. O indivíduo deixa de fazer a avaliação do sucesso dos seus actos com base num reforço afectivo positivo. O pensamento, a percepção, as tarefas, não se acompanham de uma reacção afectiva manifesta.

Em alguns casos, também os actos que habitualmente davam lugar a um afecto negativo, deixam de criar essa situação vivencial desagradável para o próprio.¹⁹⁶ A falta de oscilação até aos extremos de prazer ou de desagrado, de alegria ou de tristeza, permite no entanto a tomada de posições em relação às outras pessoas com mais liberdade do que no caso do afecto ser fortemente agressivo ou haver intensa ansiedade. Em certos casos observa-se, pelo contrário, fácil ocorrência de afectos indiferenciados em que alternam as posições extremas. O polo agressividade-fuga mantém-se e adquire predomínio. Dá-se por isso o aparecimento ou de uma frieza afectiva ou de uma profunda modificação da ligação afectiva, com agressividade ou retraimento onde antes existia um afecto positivo. É possível que em certos casos o bloqueio numa posição neutra corresponda a um mecanismo compensatório, tendente a evitar as condutas e pensamentos desadaptados, que são impostos pelos afectos alterados, no caso destes não serem controlados.

O predomínio de afectos desdiferenciados ou o bloqueio afectivo, levam à apreensão da realidade na base desse contexto, com atribuição de qualidades novas às situações correntes, perante as quais o próprio tende então a tomar uma posição de ataque. A situação pode ser vivida tão difusamente ameaçadora que o próprio toma a posição de defesa retraindo-se e recusando o contacto com o mundo e com as pessoas que o rodeiam, ou tem uma reacção de pânico.

A alteração perceptiva não é no entanto exclusivamente contextual, dependendo em parte também de modificações intrínsecas dos operadores.⁶⁴¹ Surgem novos tipos de relação entre os factos isolados e de conexões entre os dados acumulados na memória. Modifica-se assim o contexto em que é processada a informação sobre o mundo externo.

A correcção da realidade a partir dos dados objectivos torna-se impossível devido à modificação dos operadores, à alteração da estrutura relacional e à perturbação contextual do acesso às memórias.

Os processos relacionais entre os dados que constituem o modelo interno do mundo externo estão alterados. A desorganização toma em certos casos um carácter aparentemente análogo ao que, do ponto de vista verbal, se observa nas afasias sensoriais,³⁶⁶ e que pode, ou não, reflectir-se na própria expressão verbal dos esquizofrénicos.

Noutros casos dá-se uma desorganização das estratégias de conduta, semelhante à que se observa nas apraxias.

A falta de direcção afectiva na orientação do pensamento⁵⁷⁸ resulta da estruturação sem base na valorização para o próprio, e permite o descarrilamento verbal, a expansão, a contracção ou a deformação da esfera de significação dos símbolos internos.⁵⁷⁸

A significação¹⁰⁹ dos símbolos externos é também modificada, devido à alteração do contexto em que se dão os processos perceptivos. O bloqueio afectivo numa oscilação para a agressividade faz surgir as interpretações, todas modificadas por esse contexto, que imprime aos processos cognitivos, perceptivos e às estratégias de comportamento, as características necessárias para que os processamentos e a atitude actual fizessem sentido, sempre com predomínio do contexto interno sobre o externo.

A fixação ou a oscilação afectiva para uma posição de fuga levam a viver o ambiente com grande ansiedade e à procura de um isolamento que garante uma redução da tensão emocional.

A atitude reflexiva do Eu perante si próprio, pode não ser qualitativamente alterada, embora haja uma relação dos fenómenos que atingem o processamento a nível consciente, no sentido de uma forte preponderância daqueles a que foram associados os afectos patológicos. Nos casos de despersonalização, pelo contrário, há uma alteração qualitativa da estrutura do Eu.

A relação inter-pessoal¹⁴⁸ torna-se fraca devido ao predomínio das motivações

internas que torna o indivíduo, por assim dizer, autónomo do ambiente. As outras pessoas são relacionadas com o contexto agressivo ou depressivo, e é-lhes correspondentemente atribuída uma atitude que corresponde àquilo que seria adequado para que o sujeito sentisse em condições normais aquilo que sente agora na situação patológica.

As situações inter-pessoais ligadas à sexualidade⁶⁵⁹ são vividas também nesse contexto, e o mesmo se passa no que concerne a relação entre a conduta actual do sujeito e as normas de conduta, os valores, ou, por exemplo, as regras que caracterizam o jogo político numa dada organização social.

Frequentemente o domínio do contexto interno sobre o externo faz com que surjam com carácter sensorial, processamentos que antes eram apenas um contexto marginal. Esse contexto marginal cognitivo, é integrado com o estado afectivo do sujeito e dá lugar a falsas percepções ou aos fenómenos de imposição de pensamento, influenciamento, ou às intuições e ideias delirantes.

A desorganização relacional da vida psíquica pode centrar-se sobre as condutas agressivas e de defesa, e surgem os síndromes paranóides de conteúdo persecutório, ou sobre as relações eróticas e surgem os delírios de conteúdo erótico, as condutas anormais e as relações pessoais alteradas, baseadas ou centradas sobre estas perturbações afectivas.

Podem surgir alterações relacionais em que o contexto do meio interno do doente adquire preponderância, havendo então alterações características e centração dos afectos sobre os dados referentes ao meio interno, o que dá lugar a uma atitude hipocondríaca delirante.

Nos casos em que as perturbações relacionais do eu com o meio externo são as mais profundamente alteradas, por haver uma desordem afectiva que leva a sentimentos de poder e a uma estimativa exagerada da capacidade do indivíduo e a um afecto discordante de bem estar; pode então haver um sentimento de auto-valorização deformado, em que pelo contexto alterado, são integrados dados perceptivos e cognitivos interpretados de maneira concordante com esses afectos alterados. Essa integração é mal estruturada, devido à perturbação relacional dos operadores que realizam os processamentos cognitivos. Surgem então as ideias delirantes de grandeza e uma intensa actividade que simula para o contexto alterado, a actividade que o sujeito teria em circunstâncias análogas no caso de haver um fundamento verdadeiro para essa atitude, e dá lugar aos síndromes expansivos, fantásticos e confabulatórios.

A comunicação verbal²⁵² reflecte o domínio dos factores contextuais sobre os dados objectivos e ainda a destruturação relacional dos conceitos e dos critérios para controlar objectivamente os juízos sobre a realidade. Surgem então as perturbações do pensamento, que se reflectem ou se exprimem na comunicação verbal. Nos casos extremos esta forma assume as características que definem clinicamente a incoerência.³⁶⁷

Nos casos de catonias³⁶⁸ (1) paracínética, (2) maneirística, (3) proscínética, (4) negatísta, (5) de baixo limiar para a reacção verbal (hiperfémica), (6) de alto limiar para a expressão verbal (hipofémica), a desorganização é mais funda que nos casos anteriores, e atinge também os mecanismos de nível mais elevado que comandam e controlam as condutas adaptativas.

A coordenação entre os diversos blocos de comandos de que dependem as sucessões de movimentos estão alterados na catonia paracínética, dando lugar a um "desajeitamento" como se houvesse uma desorganização do plano de acção, e até, nos casos em que os movimentos são mais bruscos, como se houvesse uma desorganização da estrutura intencional com contaminação de uns esquemas motores por outros e por expressões mímicas de afecto dissociadas do restante contexto motor.

Na catonia maneirística, o doente tende a usar sucessões estereotipadas de movimentos, uma expressão facial rígida e maneirismos de recusa de alimentos ou de fazer as suas abluções, etc. Estas perturbações têm analogia com as alterações afectivas e cognitivas que descrevemos em relação às formas paranóides - podemos dizer que neste caso a alteração de representação do mundo externo surge ao nível pragmático, enquanto que no caso anterior as modificações surgiam ao nível significativo e valorativo.

Muitas vezes surgem a nível motor, esquemas de oposição ao ambiente que assumem a forma de oposição passiva às modificações sugeridas ou impostas de fora, o que é equivalente, do ponto de vista dos esquemas motores, às perturbações das relações inter-pessoais.

Nos síndromes proscinéticos, estes doentes têm tendência a reagir a estímulos com sucessões automáticas de movimentos, por vezes completamente dissociados do contexto. Outras vezes o plano de acção não está tão alterado, e são capazes de se ocupar em tarefas simples, quando dirigidos. Nesta situação, estímulos neutros podem desencadear intensas reacções agressivas em consequência da intensa perturbação relacional dos esquemas instintivos, e da falta de factores frenadores devido à desorganização mais intensa dos conjuntos relacionais de que depende a tomada de posição do Eu, ou a atitude e as estratégias das relações inter-pessoais. Nos síndromes negativísticos há um predomínio das estratégias elementares de oposição às solicitações do ambiente. As estratégias de nível mais elevado estão alteradas. As estruturas cognitivas mais diferenciadas não têm expressão comportamental, persistindo apenas condutas que dependem de impulsos e motivações elementares. Há casos em que, pelo contrário, os doentes recusam a comunicação verbal, embora por vezes gritem ou produzam sons ou estereotípias verbais, quando em situações de intensa excitação.

Em certos síndromes a perturbação da comunicação verbal consiste na ocorrência de respostas prontas, mas desligadas do contexto, quando o doente é solicitado, o que implica portanto que a atitude de comunicação inter-pessoal está conservada, embora haja dissociação entre a situação e a expressão verbal que o doente produz.

Nos síndromes hebefrénicos,³⁶⁹ a perturbação atinge predominantemente a estruturação afectiva e os processos cognitivos mais diferenciados.

As modulações dos afectos básicos estão perturbadas e o doente tem reacções verbais ou motoras grosseiras e a sua atitude é comparável à que ocorreria se tivesse havido uma regressão a uma situação infantil. O esquema das relações inter-pessoais pode então tomar um aspecto lúdico ou malicioso. Nos casos de hebefrenia sem relevo e de hebefrenia autista, há destruturação dos sistemas relacionais mais elevados, apagamento das reacções afectivas, desinteresse pela comunicação com os outros e pela estrutura da relação inter-pessoal.

Nos síndromes descritos sob a designação de hebefrenia excêntrica, o indivíduo tem comportamentos estereotipados e maneirismos, que procura ocultar. Há tendência a esquemas compulsivos de acção ou a processamentos de tipo obsessivo.

Os processos cognitivos podem estar potencialmente conservados e a perturbação ser menor do que é aparente, como se pode inferir a partir do rendimento intelectual ou do nível de apreensão da realidade que por vezes estes doentes são capazes de ter.

O problema das formas de evolução, por surtos, que é característica da esquizofrenia é extremamente importante na medida em que se pode pôr a hipótese de haver (1) uma alteração, que se estabelece por razões bioquímicas ou de regulação nervosa, ou, em sentido geral, estruturais, (2) que é depois traduzida pelos diversos níveis de processamento psicológico. Os processos psicológicos podem permitir uma correcção parcial, quer através da informação adquirida, quer por este mecanismo em conjunto com uma modificação a nível fisiológico devida à acção dos fármacos.

Quando o sistema é de novo desviado para uma dada situação anormal de funcionamento, voltam a surgir os sintomas.

As perturbações bioquímicas^{231,363,597,629} e estruturais traduzem-se em sintomas por meio das modificações relacionais que introduzem nos processos psicológicos que discutimos nos capítulos anteriores. As perturbações elementares dão origem a uma reorganização das grandes estruturas cognitivas e afectivas que se formam no decurso da maturação e do processo evolutivo da personalidade. Qualquer que seja a perturbação, o sistema está, por assim dizer, "ancorado" num conjunto de ajustamentos feitos ao longo da vida, dos quais dependem em parte as características individuais das alterações patológicas.

Por último, o modo característico de ser actual, define uma transacção projectada no futuro, diferente e característica do síndrome em causa, e uma nova es-

trutura de relações entre o indivíduo e as pessoas e os objectos que o rodeiam.

Em geral o controle dos sintomas é realizado pelo sistema mais complexo, que engloba o doente e o ambiente circundante, e que na situação terapêutica inclui o médico como agente de regulação, cuja acção é mediada pela estrutura da personalidade e pelo tipo de relação que é capaz de estabelecer, pela sua capacidade de comunicação, pelo uso correcto dos fármacos, pelo aproveitamento das novas estruturas que vão surgindo na relação terapêutica.

É possível, em fases posteriores, usar a nova estrutura de relação que é caracterizada por o doente se reconhecer perturbado, e ser capaz de usar essa informação para estabelecer os padrões com que julga ou valoriza a adequação da sua conduta.

Se esta é a estrutura das perturbações psíquicas a partir das quais se caracterizam os síndromes incluídos na esquizofrenia, é do maior interesse correlacioná-los com aquilo que se sabe a partir da investigação neurofisiológica²⁷¹ e bioquímica. Em estudos realizados durante cerca de 20 anos na Tulane University, Heath demonstrou, usando técnicas de registo através de eléctrodos crónicamente implantados em doentes que sofriam de esquizofrenia, que, em relação com as perturbações psicóticas, se registavam descargas de pontas nos Núcleos do Septo, e ocasionalmente no Hipocampo e Núcleo Amigdalino. Se as perturbações eram permanentes no sentido de não haver remissões clínicas, as alterações dos registos da actividade eléctrica no Septo também persistiam. Nos casos com remissões, observa-se, pelo contrário, o desaparecimento dessas perturbações durante o tempo de remissão.

A estimulação eléctrica no Septo provocava nesses doentes o aparecimento de sintomas psicóticos. Nos indivíduos sem perturbações psicóticas não se observavam essas anomalias. Também nos casos em que eram administradas drogas alucinogéneas se observavam descargas de pontas dos núcleos do Septo durante a ocorrência de perturbações de tipo psicótico.

Nessa amostra de doentes sem perturbações psicóticas estavam incluídos casos de parkinsonismo, narcolepsia, epilepsia e dor intratável.

Como a estimulação dos núcleos do Septo produz estados afectivos agradáveis, Heath interpretou os sintomas de esquizofrenia a partir desta alteração. Para explicar esta disritmia dos núcleos do Septo, Heath põe a hipótese de que na esquizofrenia a perturbação básica seria a de ausência de estados afectivos agradáveis.

A partir da sua experiência bioquímica, que nem sempre tem sido confirmada, a administração de Taraxeína, que é uma fracção globulínica do soro de esquizofrénicos, provoca perturbações em indivíduos normais.

A acção psicotomimética dessa fracção do soro, dependeria das catecolaminas, o que explicaria o papel importante desempenhado pelas emoções no desencadeamento de certos estados psicóticos.

Os notáveis resultados neurofisiológicos de Heath não excluem no entanto que existam perturbações de outros tipos, nem são por si só suficientes para que possamos compreender só a partir delas, as complexas manifestações que ocorrem neste tipo de psicose. As estruturas relacionais ligadas ao processamento de informação, poderão completar os dados neurofisiológicos e fornecer um paradigma para o modo como ocorrem as perturbações que caracterizam esta descarga.

É interessante notar que a importância dos factores ambientais, especialmente relacionados com o tipo de relações inter-pessoais e a estrutura familiar, não foi até agora estabelecida com um grau de certeza comparável ao das observações de Heath.

Devemos ainda mencionar que as interpretações que fizemos são concordantes com as observações de Vogt⁶⁴⁶ sobre as alterações dos núcleos talâmicos em esquizofrénicos e os estudos encefalográficos de Huber, que mostram que existem alterações cerebrais com aumento do volume do terceiro ventrículo e dos ventrículos laterais nestes doentes, e em alguns casos mesmo um aumento do espaço sub-dural.

Nesta mesma linha de investigação se inserem os estudos de Gibbs e Gibbs²¹², que demonstraram a existência de alterações da actividade eléctrica cerebral na região do lobo temporal, numa percentagem considerável de esquizofrénicos. Além disso, os estudos de Slater⁵⁹⁶ vieram mostrar que doentes inicialmente com síndromes

epilépticos bem caracterizados, podiam evoluir de tal modo que ao fim de aproximadamente 15 anos as perturbações clínicas epiléticas tinham cessado, mas observam-se perturbações em tudo idênticas às da esquizofrenia.

Note-se ainda que as experiências de Harlow em macacos, mostram que a falta de contacto entre esses animais e a mãe, e a falta de uma relação afectiva durante os primeiros meses de vida, dão lugar a alterações permanentes.

Estas perturbações poderão servir de paradigma experimental para as perturbações observadas em esquizofrénicos, que possam depender das relações que a criança estabelece com a mãe.

Para finalizarmos esta breve referência, que no futuro virá a ser objecto de um estudo mais detalhado e de um programa de investigação em cuja direcção nos viremos a orientar, é importante notarmos o papel das estruturas definidas pelos modelos.

Essas estruturas impõem novas formas de relação, que são o correspondente, na hipótese que propomos, para as leis próprias de cada camada, de Barahona Fernandes. A diferença mais significativa neste aspecto consiste em cada uma das estruturas que considerámos nos modelos, atravessar e englobar factores que pertencem a cada uma das camadas especificadas por Barahona Fernandes, na medida em que a interpretação lógica das operações neuronais implica a realização, já a esse nível, de operações comparáveis sob certos aspectos, às que caracterizam os processos cognitivos.

SÍNDROMES CLÍNICAS DAS PERTURBAÇÕES NEURÓTICAS

No caso das perturbações neuróticas, (1) a semelhança entre as motivações que são vivenciadas com sofrimento e as motivações e comportamentos normais, (2) as características dos processamentos a todos os níveis, perceptivo, cognitivo, afectivo, e, da estrutura da imagem do Eu, e da estrutura das relações inter-pessoais, que não se afasta fundamentalmente dos processos observados nos indivíduos normais e (3) o carácter muitas vezes transitório das perturbações, põem de parte em grande número de casos, a hipótese de haver alterações estruturais dos operadores neuronais.

A hipótese mais corrente, é de que os comportamentos desviados do normal representam, eles próprios, uma reacção adaptativa directamente ligada à experiência do indivíduo em transacção com o meio, ou uma modificação secundária resultante de uma elaboração feita a partir de mecanismos alterados, e que é tendente a exercer uma acção compensadora, embora em certos casos, pelo contrário, conduza a um agravamento da situação e não tenha qualquer efeito facilitador da adaptação do indivíduo.

Podemos então considerar estas perturbações como o resultado da significação da informação adquirida e armazenada sob a forma de memória, e que vai exercer influência contextual nos processamentos realizados em situações em que o indivíduo mais tarde se encontra.

Ao contrário do que se passa nas psicoses, nas perturbações neuróticas, na maioria dos casos, não há razão para se admitir que haja uma dependência dos sintomas, em relação a uma alteração estrutural dos operadores neuronais.

O mesmo não se pode dizer quanto às características constitucionais das diversas funções. Uma certa configuração constitucionalmente determinada de pulsões instintivas e motivacionais básicas, pode aumentar a probabilidade de que o treino e a experiência vivencial que o indivíduo vai ter numa dada sociedade, conduzam à formação de certas estruturas e estratégias de processamento cognitivo e de integração entre as motivações básicas e a estrutura relacional, de que depende a imagem do Eu, ou as estruturas que servem as relações inter-pessoais.

A incongruência, entre a representação que o indivíduo faz de si próprio e o modo como é considerado e avaliado pelos outros, nas relações inter-pessoais, po-

de dar origem a um sentimento de desagrado e de causar sofrimento. Igualmente a incongruência entre a imagem subjectiva que o indivíduo faz de si próprio e as exigências da estrutura do ambiente para que se submeta a um certo conjunto de normas, pode causar-lhe sofrimento, se estas últimas representarem a forçada amputação de um núcleo de comportamentos, motivações e processos cognitivos que era significativo em relação ao indivíduo.

Por outro lado, as mesmas motivações básicas podem ser ligadas por condicionamento a novos estímulos, e certas situações passarem a ser vividas com um afecto deslocado em comparação com o comportamento do indivíduo normal. No caso de uma boa adaptação, as motivações básicas, por serem diferentes, ou por terem conseguido um modo de expressão mais concordante com a imagem que o indivíduo tem de si próprio, não lhe causam sofrimento.

Como o processo de educação e aculturação a que o indivíduo é submetido coincide com a evolução genética dos seus comportamentos, em certos casos pode ser interrompido o exercício dos comportamentos que mais tarde viriam a ser sucessivamente estruturados em relações cada vez mais complexas. O indivíduo fica assim privado de uma parte importante daquilo que potencialmente lhe seria possível. Por outro lado, os núcleos afectivos e motivacionais de comportamentos e de processos cognitivos, podem persistir em desarmonia com outras partes da personalidade.

As características da experiência do indivíduo adulto perturbado, podem parecer absurdas ao próprio sujeito por não se ligarem a nenhuma experiência actual, mas a sua génese pode ser inteiramente compreensível tomando em conta as vivências ocorridas num passado eventualmente distante.

Durante os primeiros meses de vida uma parte das relações inter-pessoais da criança com as pessoas que a cercam, centra-se sobre as necessidades biológicas e sobre a expressão afectiva que é usada como linguagem na comunicação com o adulto. Trata-se portanto de uma época em que é admissível que se possam formar núcleos de reacções ligadas aos afectos e às expressões emocionais, e ao mesmo tempo a mecanismos vegetativos que constituem qualquer coisa de análogo a uma forma de linguagem e que vão persistir (ou vão reaparecer) no indivíduo durante certas épocas da sua vida.

Igualmente as manifestações sexuais podem ser ligadas à punição ou à atitude de censura das pessoas que cercam a criança, e a partir daí formarem-se sistemas relacionais entre estímulos, motivações e afectos que não intervêm na actividade do indivíduo, de maneira explícita e que portanto não sofrem a acção correctora de adaptação a modos de expressão mais diferenciados. A teoria das zonas erógenas é uma fantasia psicanalítica, uma vez que nessa fase de evolução a sexualidade não tem um desenvolvimento que permita comparar essas reacções às do adulto. Não faz sentido analisar os comportamentos atribuindo a priori funções sexuais a zonas do corpo que não pertencem ao aparelho genital. Embora o possam vir a adquirir mais tarde, isso ocorre no processo de adaptação do indivíduo em relação a um tipo de cultura e a um conjunto de condutas que são ou não, socialmente permissíveis, nas relações inter-pessoais.

Mais importante parece a ligação entre as relações pessoais e as situações e os afectos básicos, e a experiência que a criança adquire na imitação dos adultos, nos modelos que lhes oferecem as pessoas que as educam e a adaptação desses modelos ao conjunto de disposições inatas que variam de criança para criança.

Em certos casos os modelos de relação inter-pessoal característicos dessa idade, podem persistir e não sofrerem a evolução adequada, constituindo um conjunto de reacções a que o indivíduo regressa, ao ser submetido mais tarde às imposições da adaptação ao ambiente socio-cultural em que vive.

Certos comportamentos que pertencem ao repertório de adaptações relacionais com os outros, característicos de uma fase anterior de evolução, podem predominar ou ser usados com uma frequência que justifique a interpretação de que se operou uma regressão, a um estadio que ocorrera numa fase anterior da evolução do indivíduo.

Não é apenas pelos sintomas que se exprime a perturbação neurótica, mas

também pelas modificações relacionais nas situações de comunicação inter-pessoal, ou na apreensão perceptiva e cognitiva do mundo externo ou nas reacções afectivas que são ligadas às experiências da vida quotidiana, mesmo que não sejam vivenciadas com sofrimento.

Regressando ao nosso esquema de organização em estruturas de complexidade de cada vez maior, poderiam interpretar-se os sintomas que servem para definir os vários tipos clínicos de neurose a partir do modo como ocorrem as manifestações de ansiedade.

A ansiedade é um estado afectivo que é vivido como desagradável e que corresponde à expectativa de um perigo que se apresenta como indefinido, e em relação ao qual o indivíduo se sente sem defesa, embora não estejam presentes factos que possam representar uma causa imediata de medo.

A vivência da ansiedade caracteriza-se, quer por uma experiência a nível consciente, de um estado de tensão, quer por reacções vegetativas como por exemplo taquicardia, ou pelo contrário bradicardia, sudação, palidez, dor pré-cordial, falta de ar, etc.

Trata-se de uma reacção inata no que concerne certas situações e pertence ao repertório normal de reacções afectivas. Embora quando não é muito intensa possa contribuir para uma melhor adaptação ao ambiente através das condutas para as quais serve de motivação, quando pelo contrário é muito intensa pode perturbar ou impedir a ocorrência de estruturas adequadas de comportamento.

Nessas circunstâncias os seus efeitos comportamentais são semelhantes aos da ansiedade patológica no que concerne a ocorrência de estruturas de comportamento que não representam uma reacção adequada à situação.

A ansiedade patológica é caracterizada (1) pela sua intensidade excessiva (2) por ocorrer como resposta a estímulos que não a provocam para a maioria das pessoas e (3) por em muitos casos ser aparentemente espontânea no sentido de que as suas causas externas não são compreensíveis.

A ansiedade tal como é descrita em Psiquiatria pode ocorrer com diferentes graus, que vão desde um leve receio que é vivenciado como estranho e incompreensível, até aos estados de intensa excitação que por vezes se acompanham de estados de consciência anormais.

Quanto aos mecanismos do seu desencadeamento, deveria fazer-se distinção entre (1) a ansiedade que ocorre nas "reacções psicogéneas", nas "neuroses" ou nas "psicoses psicogéneas" em que a sua ocorrência depende da experiência vivencial do indivíduo, e (2) a ansiedade que ocorre como sintomas de "psicoses orgânicas", "psicoses agudas sintomáticas" ou nas "psicoses endógenas" em que o factor decisivo é a perturbação dos mecanismos neuronais das reacções afectivas.

Neste último caso as situações ambientais actuam como desencadeantes de reacções cujo limiar de ocorrência é anormalmente baixo.

Também o facto de a ansiedade poder ocorrer (3) como um sintoma de certas doenças endócrinas, como por exemplo o hipertiroidismo ou em certas perturbações cardíacas, torna claro que grande número de reacções ansiosas patológicas não dependem de factores psicogéneos.

As perturbações neuróticas estão relacionadas (1) com a excessiva importância adquirida por certas motivações, (2) pelo carácter primitivo e indiferenciado com que essas motivações são integradas nos sistemas relacionais mais elevados, (3) pela fixação por aprendizagem de decisões de acção inadequadas em relação à situação, (4) pelos efeitos contextuais exercidos pela acumulação na memória de informação referente a experiências vivenciais anormais ocorridas no passado, (5) pela selecção de estados psicológicos que emergem a nível consciente, (6) pela estruturação das relações inter-pessoais com limitações e desvios impostos pelas alterações a níveis mais básicos, (7) pelo sofrimento que resulta para o indivíduo da predição dos resultados que ocorreriam se exercesse as condutas que tem reprimidas ou exteriorizasse os afectos que vivencia, (8) pela incongruência entre o sistema relacional que define o Eu do indivíduo e aquele que o descreveria se todos os elementos presentes fossem usados na integração, (9) na representação interna do mundo externo que é influenciada pelo contexto individual ligada aos desvios do juízo sobre as situações, aos

resultados de comportamentos passados e aos afectos que estão ligados às configurações de estímulos do mundo externo.

Tomando a ansiedade patológica como paradigma e como elemento básico das perturbações neuróticas, que inibe certas formas de comportamento ou lhes cria um contexto anormal, teríamos: (1) se os factores de inibição actuam sobre os estadios de processamento antes deles atingirem o sistema relacional que define a consciência reflexiva, poderia haver uma experiência exclusiva de ansiedade, como ocorre nas neuroses ansiosas, por vezes completamente desligada do conjunto da restante experiência do indivíduo, (2) se o efeito inibidor se exerce ao nível do processamento cognitivo e à execução de estratégias de acção, certos estímulos e certas decisões de acção ou sucessões de actos, seriam vivenciados no contexto de uma intensa ansiedade, surgindo assim como estruturas fóbicas, (3) se a acção da ansiedade se exerce ao nível da representação interna do mundo externo e do planeamento de certas estratégias de acção, surgiria então o pensamento obsessivo, (4) se a ansiedade esteve ligada à execução detalhada de sucessões de actos que compõem as estratégias, surgiriam então as paralisias e as anestésias histéricas, (5) se houve permanência de certos núcleos primitivos de comportamento em que uma intensa actividade persiste associada a uma situação de relações inter-pessoais e à satisfação de necessidades e motivos básicos com intensa expressão vegetativa, podem surgir então sintomas em que as aferências viscerceptivas são vivenciadas no contexto dessa ansiedade.

Resumo e Conclusões

(1) Nos três primeiros capítulos, fez-se uma revisão de algumas das contribuições electrofisiológicas mais importantes para o esclarecimento (a) dos problemas concernentes ao processamento dos dados sensoriais, (b) dos mecanismos neurofisiológicos dos Reflexos Condicionados, (c) dos mecanismos neurofisiológicos de regulação da Vigília e da Atenção.

Fez-se também uma extensa discussão dos dados psicológicos e psicofisiológicos referentes aos Reflexos Condicionados, Motivação, Afectos, Instintos, Memória, Percepção, Processos Cognitivos e Linguagem, nos capítulos em que foram descritos modelos neuronais para esses processos.

(2) Foram estudadas respostas de neurónios do Cortex Cerebral do gato, a estímulos visuais, acústicos e vestibulares, tanto nas Áreas de Projecção Primária, como nas Áreas Associativas, e também de neurónios do Núcleo Geniculado Externo.

(3) Foram estudadas respostas da Convergência Multisensorial, tanto mediadas pelas vias específicas como pelos sistemas inespecíficos.

(a) As respostas que obtivemos às três espécies de estímulos cabem dentro de duas categorias gerais:

- Respostas específicas - de curta latência, com uma activação inicial muito intensa, bem limitadas no tempo, cuja duração tinha relação directa com a duração do estímulo (Tipo I).

- Respostas não específicas - de longa latência, com activação inicial menos intensa e que depois aumentava progressivamente, com limitação no tempo menos nítida, com oscilações da intensidade e ultrapassando muitas vezes a duração do estímulo (Tipo II).

(α) Estimulação Vestibular

Foram observadas respostas de tipo I ao estímulo vestibular na margem anterior da C. Supra-sílvica anterior, menos frequentemente na Área Acústica e em alguns neurónios das áreas Visual Primária, Visual Secundária, Para-acústica, Somatosensorial e Associativa (na parte anterior da Circunvolução Lateral).

As respostas com latência mais curta e com mais intensa activação foram encontradas na região primeiro mencionada, e que correspondem à área de projecção vestibular.

As respostas mais frequentes foram as de activação durante a estimulação num dos sentidos de polarização, com inibição ao cessar o estímulo. Havia, nesses mesmos neurónios, inibição ao fazer o estímulo com polarização inversa, com activação ao cessar o estímulo. Um segundo tipo de neurónios era caracterizado por reacções de inibição em ambos os sentidos de polarização. Um terceiro tipo era ca-

racterizado por reacções de inibição num sentido de polarização, não sendo influenciados pela estimulação em sentido inverso. Um quarto tipo de neurónios era caracterizado por reacções de activação em ambos os sentidos de polarização.

Considerando os resultados em conjunto, verifica-se que ocorreram reacções de activação e inibição, em relação com ambos os sentidos de polarização labiríntica.

Muitos dos neurónios reagiam, como descrevemos nos tipos atrás mencionados, com uma resposta de sentido especificamente dirigido, análoga às respostas encontradas no Nervo Vestibular e nos Núcleos Vestibulares em relação a um estímulo mais adequado - a rotação.

Na nossa série de experiências, quando a estimulação era mais intensa obtinha-se como resposta uma activação tanto no início como no fim da estimulação sem inibição. Quanto às respostas que consideramos inespecíficas predominam as reacções de tipo β segundo Grüsser, que as descreveu pela primeira vez na Área Visual Primária, e que são caracterizadas pela sua longa latência média (à volta de 150 msec.), a sua intensificação progressiva, e que aparecem sempre em relação apenas com o início da estimulação labiríntica em ambos os sentidos da polarização, ultrapassando a sua duração muitas vezes a do estímulo de polarização.

Também muito frequentes eram as respostas do tipo δ com activação ao iniciar e ao cessar o estímulo, em ambos os sentidos de polarização.

Um considerável número de neurónios em todas as regiões não reagem à polarização do labirinto (Tipo α). Encontrámos reacções do tipo ϵ com inibição ao fazer-se estimulação em ambos os sentidos de polarização.

Os neurónios de qualquer dos tipos descritos por Jung em relação à estimulação luminosa, foram influenciados de maneira análoga à que acabamos de descrever, pelas aferências vestibulares. Os nossos resultados são idênticos aos de Grüsser, em relação à Área Visual Primária, mas encontrámos, além disso, resultados comparáveis em todas as áreas estudadas no que respeita a respostas inespecíficas.

Os neurónios do Núcleo Genuculado Externo tinham também reacções do tipo II quando o registo era feito estereotaxicamente através do cérebro intacto, mas não se obteve qualquer resposta quando se fez o registo após ablação por aspiração de algumas áreas póstero-laterais do Cérebro, de maneira a expor o Ventrículo Lateral.

Quanto ao tipo da resposta neuronal à estimulação vestibular, a activação provocada pelos estímulos vestibulares tinha carácter contínuo na quase totalidade dos neurónios, mas encontrou-se excepcionalmente, em dois neurónios da Área Visual Secundária, uma inibição durante a fase rápida e uma activação durante o início da fase lenta do nistagmo.

Na Área Vestibular encontrámos uma unidade que respondia com descargas que surgiam em grupos com o mesmo ritmo do nistagmo, embora sem correlação com a fase lenta ou com a fase rápida.

A estimulação do Labirinto com água quente levou à activação das descargas neuronais, enquanto que a água fria provocava uma resposta contrária. Todavia, observou-se também activação em alguns neurónios após estimulação do labirinto com água fria.

A activação neuronal ao nível do Cortex teve uma evidente correlação temporal com os movimentos dos olhos, que eram também provocados pela mesma estimulação calórica do Labirinto. A primeira fase de activação no Cortex começava simultaneamente com movimentos pendulares rítmicos dos olhos, que precedem o nistagmo calórico.

O início do nistagmo, assim como a sua intensificação com carácter fásico, tinham uma correlação bem definida com a activação neuronal no Cortex. Simultaneamente com o aumento de frequência do nistagmo, ocorria um aumento da frequência da descarga neuronal, que depois se reduzia, embora o nistagmo continuasse mais intenso que anteriormente. Este facto pode ser interpretado como um fenómeno de adaptação neuronal.

(β) Estimulação Luminosa

No nosso trabalho encontramos respostas dos tipos descritos por Jung, não apenas no Cortex Visual Primário mas também no Núcleo Geniculado Externo, no Cortex Paravisual, Para-acústico e Cortex Vestibular Primário.

Nas condições em que trabalhamos – adaptação ao escuro, estímulo luminoso de fraca intensidade – as latências das respostas neuronais à estimulação luminosa intermitente não eram significativamente mais longas que na Área Visual Primária. As respostas eram tão bem definidas e o nível da frequência de fusão crítica do Flicker era tão elevado como o que se encontra correntemente na Área Visual Primária.

(p) Estímulos Acústicos

As respostas aos estímulos acústicos foram encontradas no Cortex Acústico Primário, na Área Vestibular e em alguns neurónios das Áreas Visual Primária e Secundária, Área Somato-Sensorial e na Área Associativa (parte anterior da Circunvolução Lateral).

(4) Convergência

Quando se fez a estimulação luminosa intermitente com uma frequência inferior à da fusão crítica, quer dizer, a uma frequência tal que para cada estímulo havia respostas neuronais claramente relacionadas com ele, e simultaneamente se fez a polarização do Labirinto, houve aumento da intensidade das respostas à luz, em comparação com as obtidas quando não se fazia simultaneamente estimulação labiríntica.

Para todos os tipos de neurónios, o aumento da frequência da descarga neuronal era máximo durante o início do estímulo labiríntico. Depois havia uma redução, provavelmente em relação com a adaptação.

A frequência a que ocorria a fusão crítica do flicker elevava-se geralmente quando se fazia estimulação vestibular simultânea.

Foi observada convergência do tipo específico de respostas a duas modalidades sensoriais num mesmo neurónio, nas Áreas Acústica, Associativa e Visual. Este tipo era muito menos frequente que o anteriormente descrito.

Em três neurónios verificou-se convergência de tipo específico em relação às três modalidades sensoriais estudadas. Desses neurónios, dois estavam situados na Área Vestibular Primária e na Área Visual.

Portanto, para além da falta de especificidade em relação a uma modalidade sensorial, de grande número de neurónios das Áreas Secundárias, também nas Áreas específicas se encontraram respostas a modalidades sensoriais diferentes.

(5) A significação destes resultados foi discutida tendo em conta não só os estudos neurofisiológicos dos fenómenos Sensoriais e Perceptivos, dos Mecanismos neurofisiológicos de regulação da Vigília, da Atenção e da Motivação, como além disso os modelos cibernéticos para esses processos.

(6) Fez-se uma análise Cibernética dos mais importantes processos psicológicos, tendo para isso sido usada uma representação por Neurónios Formais, bem como por Neurónios com Interação de Aferências, Neurónios que realizam operações definidas em Corpos de Galois, Neurónios que formam Redes Assíncronas e Neurónios com operações definidas por sistemas de equações e desigualdades Pseudo-Booleanas.

(7) Foram discutidos e tratados de um ponto de vista formal uma medida para a Quantidade de Informação, processada em neurónios com funcionamento sem erro e sujeito a erro, respectivamente.

(8) Analisaram-se os processos de aprendizagem do ponto de vista da Teoria Matemática da Comunicação.

(9) Fez-se um estudo dos problemas levantados pelas redes de neurónios, do ponto de vista da Teoria do Controle.

(10) Desenvolveu-se um modelo neuronal capaz de realizar processos de auto-correlação e correlação cruzada.

(11) Usando esses instrumentos, foram estudados os seguintes problemas: Reflexos Condicionados, Motivação e Afectos, Instinto, Memória (Armazenamento de Informação sob forma permanente), Processos de localização e reencontro da Informação armazenada na Memória (Information Retrieval), Percepção, Linguagem, Processos Cognitivos, Personalidade e alguns problemas Psiquiátricos.

(12) Em conjunto, o nosso trabalho corresponde a uma tentativa de reformulação de alguns dos temas básicos para a Psicologia, através da utilização dos modelos neuronais, e mostrando como é possível encontrar um equivalente neurofisiológico para cada um dos conceitos psicológicos, desde que os neurónios sejam interpretados, tal como o fizeram McCulloch e Pitts, como operadores lógicos. Torna-se então possível interpretar o funcionamento do Sistema Nervoso simultaneamente a dois níveis – o neurofisiológico e o lógico – o que implica uma reformulação do problema das relações psicofísicas.

Bibliografia

1. ADEY, W.R. - "Organization of the Rhinencephalon". In Reticular Formation of the Brain, H.J. Jasper and al. (Eds.), 1958, pp. 611-644, 1958, Churchill, London.
2. ADEY, W.R. - "Studies of Hippocampal Mechanisms in Learning". In CIOMS Symposium on Brain Mechanisms and Learning. A. Fessard, R.W. Gerard, J. Konorski, and V. F. Delafresnaye, (Eds.) pp. 577-588, 1961, Blackwell, Oxford.
3. ADRIAN, E.D. - The Mechanism of Nervous Action. 1932. University of Pennsylvania Press Philadelphia.
4. ADRIAN, E.D. - "Discharges from Vestibular Receptors in the Cat". J. Physiol., 1943, 101, 389.
5. ADRIAN, E.D. and BRONK, D.W. - "The Discharge of Impulses in Motor Nerve Fibers, I. Impulses in single Fibers of the Phrenic Nerve". J. Physiol., 1928, 66, 81..
6. ADRIAN, E.D. and MATTHEWS, B.H.C. - "The Berger Rhythm. Potential Changes from the Occipital Lobes in Man", Brain, 1934, 57, 355.
7. AFFANI, J.; MANCIA, M. and MACHIAFAVA, P.L. - "Role of the Pupil in Changes in Evoked Responses along the visual pathways"- Arch. Ital. Biol., 1962, 100, 287.
8. AGRANOFF, B.W., DAVIS, R.E. and BRINK, J.J. - "Memory Fixation in the Goldfish". Proc. Nat. Acad. Sci., 1965, 54, 788.
9. AGRANOFF, B.W., DAVIS, R.E. and BRINK, J.J. - "Chemical Studies on Memory Fixation in Goldfish". Brain Res., 1966, 1, 303.
10. AGRANOFF, B.W. and KLINGER, P.D. - "Puromycin Effect on Memory Fixation in the Goldfish". Science 1964, 146, 952..
11. AKIMOTO, H. and CREUTZFELDT, O. - "Reaktionen von Neuronen des optischen Cortex nach elektrischer Reizung unspezifischer Thalamuskern". Arch. Psychiat. Nervenkr., 1957, 196, 494.
12. ALLPORT, F.H. - Theories of perception and the concept of structure, 1955, J. Wiley, New York.
13. ALLPORT, G. - Personality: A Psychological Interpretation, 1937, Henry Holt, New York.
14. ALLPORT, G. - The Nature of Personality, 1950, Addison-Wesley, Cambridge, Mass..
15. ALLPORT and AMASSIAN, V.E. - "Studies on Organization of a Somesthetic Area, Including a Single Unit Analysis". J. Neurophysiol., 1954, 17, 39.
16. AMASSIAN, V.E. and DE VITO, R.V. - "Unit Activity in Reticular Formation and Nearby Structures". J. Neurophysiol., 1954, 17, 575.
17. ANDERSEN, P. - "Interhippocampal Impulses. II. Apical Dendritic Activation of CAI Neurons". Acta Physiol. Scand., 1960, 48, 178.
18. ANDERSEN, S., and GERNANDT, B.E. - "Cortical Projection of Vestibular Nerve in Cat". Acta oto-laryng., Suppl.116, 1954, 10.
19. ANOKHIN, P.K. - "Features of the Afferent Apparatus of the Conditioned Reflex and their Importance for Psychology". In N. O'Connor (Ed.), Recent Soviet Psychology, pp. 75-103, 1961, Pergamon, Oxford.
20. ANOKHIN, P.K. - "A New Conception of the Physiological Architecture of Conditioned Reflex". In Brain Mechanisms and Learning, J. F. Delafresnaye (Ed.), pp. 189-229, 1961, Blackwell, Oxford.
21. APOSTEL, L. - "Logique et Langage Considerés du Point de Vue de la Précorrection des Erreurs", in Logique, Langage et Théorie de l'Information. L. Apostel, B. Mandelbrot, A. Morf (Eds.), pp. 79-172, 1957, PUF, Paris.
22. ARBIB, M. - "Turing Machines, Finite Automata and Neural Nets". J. Assoc. Computing Mach., 1961, 8, 467.
23. ARBIB, M. - Brains, Machines and Mathematics, 1964, Mac Graw Hill, N. York.
24. ARDUINI, A.; MANCIA, M. and MECHELSE, K. - "Slow Potential Changes in Cerebral Cortex by Sensory and Reticular Reticular Stimulation". Arch. Ital. Biol., 1957, 95, 127.
25. ARMSTRONG, D.B.; FRIEDMAN, A.D. and MENON, P.R. - "Synthesis of Assynchronous Sequential Circuits with Minimum Number of Delay Elements". Comunicação pessoal.
26. ARTEMEV, V.V. - "Electrical Responses of the Cerebral Cortex to Acoustic Stimuli in Anesthetized and Unanesthetized Animals". J. Physiol. URSS, 1951, 37, 688.
27. ASHBY, W.R. - Design for a Brain, 1952, J. Wiley, N. York.
28. AUBERT, H. - "Eine scheinbar Bestehende Drehung von Objekten bei Neigung des Kopfes nach Rechts und Links". Virchow's Arch. Pathol. Anat. Physiol., 1861, 20, 381.
29. BAR-HILLEL, Y. - "On Categorical and Phrase Structure Grammars". The Bull. of the Research Council of Israel, 1960, vol. 9 F, 1.
30. BAR-HILLEL, Y. - "On Formal Properties of Simple Phrase Structure Grammars". Zeitsch. für Phonetik, Sprachwissen und Kommunikationforsch 1961, 14, 143.
31. BAR-HILLEL, Y. - "Some Linguistic Obstacles to Machine Translation" in Language and Information, pp. 75-86, 1964, Addison Wesley, Reading, Mass.
32. BAR-HILLEL, Y. - "Four Lectures on Algebraic Linguistics and Machine Translation", in Language and Information, pp. 185-218, 1964, Addison Wesley, Reading, Mass.
33. BAR-HILLEL, Y. and CARNAP, R. - "Semantic Information", Brit. J. Phil. Sci., 1953, 4, 147.

34. BARD, P.A. and MARTIN, M.B. - "The Behaviour of Chronically Decerebrated Cats" Neurological Bases of Behaviour, 1958, Churchill, London.
35. BARLOW, H. B. - "The Coding of Sensory Messages". In Current Problems of Animal Behaviour. W. Thorpe and O. Zangwill (Eds.), pp. 331-360, 1961, Cambridge U.P. Cambridge.
36. BARLOW, H. B., R. FITZHUGH and S. W. KUFFLER - "Change of Organization in the Receptive Fields of the Cat's Retina during Dark Adaptation". J. Physiol., 1957, 137, 338.
37. BATINI, C., MORUZZI, G., PALESTINI, M., ROSSI, G. P. and ZANCHETTI, A. - "Effects of Complete Transactions on the Sleep - Wakefulness Rhythm: the Midpontine Pretrigeminal Preparation". Arch. Ital. Biol., 1959, 97, 1.
38. BAUMGARTNER, G. - "Indirekte Größenbestimmung der Rezeptiven Felder der Retina beim Menschen mittels der Hermannschen Gittertäuschung". Pflüger's Arch. ges. Physiol., 1960, 272, 21.
39. BAUMGARTNER, G. - "Kontrastlicheffekte an retinalen Ganglienzellen: Ableitungen von Tractus opticus der Katze". In Neurophysiologie und Psychophysik des Visuellen Systems, R. Jung, H. Kornhuber (Eds.), pp. 45-55, 1961. Springer, Berlin.
40. BAUMGARTNER, G. - "Die Reaktionen der Neurons des zentralen visuellen Systems der Katze in simultanen Helligkeitskontrast", in Neurophysiologie und Psychophysik des Visuellen Systems, R. Jung, H. Kornhuber (Eds.), pp. 296-512, 1961, Springer, Berlin.
41. BAUMGARTNER, G. and HAKAS, P. - "Reaktionen einzelner Opticusneurone und corticaler Nervenzellen der Katze im Hell Dunkel Grenzfeld (Simultankontrast)" Pflügers Arch. Ges. Physiol., 1959, 270, 29.
42. BAUMGARTNER, R. von and MOLLICA, A. - "Convergenza d'impulsi afferenti eterogenei su una singola unità reticolare sottoposta all'influenza del cervelletto e della zona corticale motrice". Boll. Soc. Ital. Biol. Sper., 1953, 29, 1377.
43. BAUMGARTNER, R. von and MOLLICA, A. - "Der Einfluss sensibler Reizung auf die Entladungsfrequenz kleinhirnbabhängiger Reticulariszellen". Pflügers Arch. Ges. Physiol., 1954, 259, 79.
44. BENDER, M. and JUNG, R. - "Abweichungen der subjektiven optischen Vertikalen und Horizontalen bei Gesunden und Hirnverletzten". Arch. Psychiat., Nervenkr., 1948, 181, 192.
45. BERGER, H. - "Über das Elektroenkephalogramm des Menschen". Arch. Psychiat., 1929, 87, 527.
46. BERLYNE, D. E. - "The Arousal and Satiation of Perceptual Curiosity in the Rat". J. Comp. Physiol. Psychol., 1955, 48, 238.
47. BERLYNE, D. E. and SLATER, J. - "Perceptual Curiosity, Exploratory Behaviour, and Maze Learning". J. Comp. Physiol. Psychol., 1957, 50, 228.
48. BINGLEY, T. - "Mental Symptoms in Temporal Lobe Epilepsy and Temporal Lobe Gliomas". Acta Psych. et Neur. Scandinavica, 1958, Monog. Suppl. 1.
49. BLACK, H. S. - "Stabilized feed-back Amplifier". Elec. Eng. 1934, 53, 114.
50. BLUM, M. - "Properties of a Neuron with many Inputs", in Principles of Self-Organization, H. von Foerster, G. W. Zopf (Eds.), pp. 95-119, 1962, Pergamon Press, New York.
51. BLUM, M., ONESTO, N. M. and VERBECK, L. A. M. - "Tolerable Errors of Neurons for Infallible Nets", in Redundancy Techniques for Computing Systems R. H. Wilcox, W. C. Mann (Eds.), pp. 66-69, 1962, Spartan Books, Washington.
52. BORENSTEIN, P., BRUNER, J. and BUSER, P. - "Organisation Neuronique et Convergence Hétérosensorielles dans le Complexe Latéral Postérieur "Associatif" du Thalamus chez le Chat". J. Physiol. (Paris), 1959, 51, 413.
53. BORING, E. G. - "Sensation and Perception in the History of Experimental Psychology, 1942, Appleton Gutuny, New York.
54. BOWDITCH, H. P. - "Über die Eigenthümlichkeiten der Reizbarkeit welche die Muskelfasern des Herzens zeigen". Ber. Sachs. Ges., 1871, 23, 652.
55. TER BRAAK, J. W. G. - "Untersuchungen über optokinetischen Nystagmus". Arch. Neerl. Physiol., 1936, 21, 309.
56. BRAITHWAITE, R. B. - "Scientific Explanation", 1953, Cambridge, U. R., Cambridge.
57. BREMER, F. - "Cerveau Isolé et Physiologie du Sommeil", Comp. Rend. Soc. de Biol., 1935, 118, 1235.
58. BREMER, F. - "Neurophysiological Mechanisms in Cerebral Arousal", in The Nature of Sleep, G. E. Wolstenholme, M. O'Connor (eds.), pp. 30-49, 1961, Churchill, London.
59. BREMER, F. et TERZUOLO, C. - "Contribution à l'Étude des Mécanismes Physiologiques du Maintien de l'Activité Vigile du Cerveau. Interaction de la Formation Reticulée et de l'Écorce Cérébrale dans le Processus du Réveil". Arch. Int. Physiol., 1954, 62, 157.
60. BRESSON, F. - "La Signification", in Problèmes de Psycho-Linguistique", pp. 9-45, 1963, PUF, Paris.
61. BRODAL, A. - "The Reticular Formation of the Brain Stem, 1957, Oliver and Boyd, London.
62. BROGDEN, W. J. - "Sensory pre-conditioning", J. Exp. Psychol., 1939, 25, 323.
63. BROGDEN, W. J. - "Animal Studies of Learning". In Handbook of Experimental Psychology, S. S. Stevens (Ed.), 1951, pp. 568-612, J. Wiley, New York.
64. BROWN, J. L. - "Orientation to the vertical during water immersion". Aerospace Med., 1961, 32, 209.
65. BROWN, R. L. - "Wilhelm von Humboldt Conception of Linguistic Relativity, 1967, Mouton, The Hague.
66. BROWN, R. W. - "Language and Categories" in A Study of Thinking, J. S. Bruner, J. J. Godnow and G. A. Austin, pp. 247-312, 1956, J. Wiley, New York.
67. BRUNER, J. and TAUC, L. - "Les modifications de l'Activité Synaptique au cours de l'Habituation chez l'Aplysie". J. Physiol. (Paris), 1964, 56, 306.
68. BRUNER, J. and TAUC, L. - "La Plasticité Synaptique impliquée dans le Processus d'Habituation chez l'Aplysie". J. Physiol. (Paris), 1965, 57, 230.
69. BRUNER, J. and TAUC, L. - "Habituation at the Synaptic Level in Aplysia". Nature, 1966, 210, 37.
70. BRUNER, S. S., GOODNOW, J. V. and AUSTIN, G. A. - "A study of Thinking, 1956, J. Wiley, New York.
71. BRUNSWICK, E. - "Organismic Achievement and Environmental Probability", Psychol. rev., 1943, 50, 255.
72. BUSER, P. - "Observations sur l'Organisation Fonctionnelle du Cortex Moteur chez le Chat". Bull. Acad. Suisse Sci. Méd., 1960, Fasc. 5, 355.
73. BUSER, P. et BORENSTEIN, P. - "Réponses Somesthésiques, Visuelles et Auditives, recueillies au Niveau du Cortex "associatif" Suprasyllvien chez le Chat Curarisé non Anesthésié". Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1959, 11, 285.
74. BUSER, P., BORENSTEIN, P. et BRUNER, J. - "Études des Systèmes "associatifs" Visuels et Auditifs chez le Chat Anesthésié au Chloralose". Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1959, 11, 305.
75. BUSER, P. and IMBERT, M. - "Données sur l'Organisation des Projections Afferentes au niveau du Cortex Moteur du Chat". Anales Fac. Méd. Montevideo, 1959, 44, 220.
76. BUSER, P. and IMBERT, M. - "Sensory Projections to the Motor Cortex in Cats: a Microelectrode Study". In Sensory Communication W. A. Rosenblith (ed.) pp. 597-626, 1961, M. I. T. Press and John Wiley, New York.
77. BUSER, P. et ROGER, A. - "Interprétation du Conditionnement sur la Base des Données EEGraphiques". Ist International Congress of Neurological Sciences, Brussels 1957, Published in Acta Medica Belgica, pp. 417-444, 1957, Brussels.
78. BUSER, P. et ROUGEUL, A. - "Réponses Sensorielles Corticales chez le Chat en Préparation Chronique. Leurs Modifications lors de l'Établissement de Liaisons Temporaires". Neurol. (Paris), 1956, 501.
79. BUSH, R. R. and MOSTELLER, F. - "Stochastic Models for Learning, 1959, J. Wiley, New York.

80. BYKOV, C. - "L'Écorce Cerebral et les Organes Internes", 1956. Editions en langues étrangères, Moscou.
81. CAIANIELLO, E. R. - "Decision Equations and Reverberation", *Kybernetik*, 1966, 3, 98.
82. CAIANIELLO, E. R. and A. DE LUCA - "Decision Equations for Binary Systems. Application to Neuronal Behaviour", *Kybernetik*, 1966, 3, 33.
83. CAJAL, S. RAMON, J. - Les Preuves Objectives de l'Unité Anatomique des Cellules Nerveuses. *Trav. Lab. Rech. Biol., Univ. Madrid*, 26, 1.
84. CANNON, W. B. - *Bodily Changes in Pain, Hunger, Fear and Rage*, 1963, Harper, New York.
85. CARNAP, R. - "Meaning and Necessity", 1947, University of Chicago Press, Chicago.
86. CARNAP, R. - "Logical Foundations of Probability", 1950, University of Chicago Press, Chicago.
87. CARNAP, R. - "The Logical Syntax of Language", 1959, Littlefield, Adams and Co., Peterson, New Jersey
88. CASPERS, H. - "Changes of Cortical D. C. Potentials in the Sleep-wakefulness Cycle". In G. Wolstenholm, M. O'Connor (Ed.) *The Nature of Sleep*, pp. 237-259, 1961, Churchill, London.
89. CASPERS, H. and WINKEL, K. - *Pflüg Arch. ges. Physiol.*, 1954, 259, 234 (cit. Magnes, J., Moruzzi, G. and Pompeiano, O.) in *The Nature of Sleep*, G. E. Wolstenholme, M. O'Connor (Eds.), pp. 56-78, 1961, Churchill, London.
90. CASTRO, G. de - *Teoria Matemática da Informação*, Publ. n.º 4505, DST, Correios de Portugal, Lisboa.
91. CATE, T. J. - "Akustische und Optische Reaktionen der Katzen nach 4500 und Totalen Extirpationen des Neopalliums", *Arch. Neerl. Physiol.*, 1934, 19, 469.
92. CATTELL, R. B. - *La Personalité*, 1955, PUF, Paris.
93. CAWS, P. - "Definition and Measurement in Physics". In *Measurement*, C. W. Churchman, P. Ratoosh (Eds.), 1959, 3, 17
94. CHAMBERLAIN, T. J., ROTHSCILD, G. H. and GERARD, R. W. - "Drugs Affecting RNA and Learning". *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 1963, 49, 918.
95. CHOMSKY, N. - *Syntactic Structures*, 1957, Mouton, The Hague.
96. CHOMSKY, N. - "A Review of B. F. Skinner's Verbal Behaviour", *Language*, 1959, 35, 26.
97. CHOMSKY, N. - "On the Notion Rule of Grammar". *Proceed. XII Symp. in Appl. Math.*, 1961, 12, 6.
98. CHOMSKY, N. - "Formal Properties of Grammars", in *Handbook of Mathematical Psychology*. Luce. Bush. Galanter (Eds.) pp. 323-418, 1963, Wiley Ed., New York.
99. CHOMSKY, N. - "Current Issues in Linguistic Theory", 1964, Mouton, The Hague.
100. CHOMSKY, N. - *Cartesian Linguistics*, 1966, Harper and Row, New York.
101. CHOMSKY, N. - "The General Properties of Language", in *Brain Mechanisms Underlying Speech and Language*, pp. 73-88, 1967, Grune and Stratton, New York.
102. CHOMSKY, N. - "The Formal Nature of Language" in *Biological Foundations of Language*, Lenneberg, pp. 397-442, 1967, J. Wiley, New York.
103. CHOMSKY, N. and MILLER, G. A. - "Introduction to the Formal Analysis of Natural Languages", in *Handbook of Mathematical Psychology VII*, Luce, Bush, Galanter (Eds.), pp. 269-332, 1963, Wiley Ed., New York.
104. CHOUDHURY, B. P., WHITTERIDGE, D. and WILSON, M. E. - "The Function of the Callosal Connections of the Visual Cortex", *Quart. J. Exptl. Physiol.*, 1965, 50, 214.
105. CLYNES, M., COHN, M. and GRADJAN, M. - "Computer Recognition of the Brain's Visual Perception Through Learning the Brain's Physiological Language" *IEEE International Convention Record*, 1967, 9, 125.
106. CLYNES, M. and KOHN, M. - "Spatial Visual Evoked Potentials as Physiological Language Elements for Color and Field Structure", in *The Evoked Potentials, Electroencephalog. Clin. Neurophysiol.*, 1967, Supplem. 26, 82.
107. COHN, M. - "Controllability in Linear Sequential Networks", *IRE Trans.*, 1962, vol. CT-9, pp. 74-78.
108. COHN, M. and EREN, S. - Identification and Minimization of Linear Machines, *IEEE Trans. on Electron. Comput.*, 1965, vol. EC-14, 367.
109. CONRAD, K. - *Die Beginnende Schizophrenie*, 1959, G. Thieme, Stuttgart.
110. CONRAD, K. - "Die Symptomatischen Psychosen", in *Psychiatrie der Gegenwart*, Grühle und al. (Eds.), pp. 369-435, II vol., 1960, Springer, Berlin.
111. COPI, I. M. - *Symbolic Logic*, 1954, Mac Millan Co., New York.
112. COPI, I. M., ELGOT, C. C. and WRIGHT, J. B. - "Realization of Events by Logical Nets" *J. Assoc. Comput. Mach.*, 1958, 5, 181.
113. COWAN, J. D. - "Many-valued Logics and Reliable Automata", in *Principles of Self-organization*, H. von Foerster, G. W. Zopf Jr., (Eds.), pp. 135-179, 1962, Pergamon Press, Mac Millan, New York.
114. COWAN, J. D. - "The Engineering Approach to the Problems of Biological Integration", in *Nerve, Brain and Memory Models*, N. Wiener, J. Schadé (Eds.), pp. 22-29, 1963, Elsevier, Amsterdam.
115. CRAIK, K. - *The Nature of Explanation*, 1943, Cambridge, U. P., Cambridge.
116. CREUTZFELDT, O. and AKIMOTO, H. - "Konvergenz und Gegenseitige Beeinflussung von Impulsen aus der Retina und der Unspezifischen Thalamuskernen an Einzelnen Neuronen der Optischen Cortex". *Arch. Psychiat.*, 1958, 196, 520.
117. CREUTZFELDT, O. and GRÜSSER, O. J. - "Beeinflussung der Flimmerreaktion einzelner corticaler Neurone durch elektrische Reize unspezifischer Thalamuskern". In: *Proc. Inst. Int. Congr. neurol. Sci., Bruxelles*, vol. III, *Clinical Neurophysiology and Epilepsy*, pp. 349-355, 1959, Pergamon, London.
118. CREUTZFELDT, O. and JUNG, R. - "Neuronal Discharge in the Cat's Motor Cortex During Sleep and Arousal", in *The Nature of Sleep*, G. Wolstenholme, M. O'Connor (Eds.), pp. 131-170, 1961, Churchill, London.
119. CREUTZFELDT, O., SPEHLMANN, P. R. and LEHMANN, D. - "Veränderungen der Neuronaktivität des visuellen Cortex durch Reizung der Substantia reticularis mesencephali", in *Neurophysiologie und Psychophysik des visuellen systems*, Richard Jung, Hans Kornhuber (Eds.), 351-396, 1961, Springer, Berlin.
120. DAVIS, H., DAVIS, P. A., LOOMIS, A. L., HARVEY, E. N. and HOBART, G. - "Human Brain Potentials During Onset of Sleep", *J. Neurophysiol.*, 1938, 1, 24.
121. DAVIS, H., DAVIS, P. A., LOOMIS, A. L., HARVEY, E. N., and HOBART, G. - "Electrical Reactions of Human Brain to Auditory Stimulation During Sleep". *J. Neurophysiol.*, 1939, 2, 500.
122. DELAY, J., PICHOT, LAMPÉRIÈRE, PERSE, J. - *Le test de Rorschach et la personnalité épileptique*, 1955, PUF, Paris.
123. DELL, P. - "Corrélations entre le Système Végétatif et le Système de la Vie de Relation: Mesencéphale, Diencéphale e Cortex Cérébral". *J. Physiol. (Paris)*, 1952, 44, 471.
124. DELL, P., BONVALLET, M. and HUGELIN, A. - "Mechanisms of Reticular Deactivation", in G. Wolstenholme, M. O'Connor (Eds.), pp. 56-107, 1961, Churchill, London.
125. DEMENT, W. - "The Occurrence of low Voltage fast Electroencephalogram Patterns during Behavioural Sleep in the Cat" *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 1958, 10, 291.
126. DEMENT, W. and KLEITMAN, N. - "Cyclic Variations in EEG during Sleep and their Relation to Eye Movements, Body Motility and Dreaming", *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 1957, 9, 673.
127. DEMENT, W. and KLEITMAN, N. - "The Relation of Eye Movements during Sleep to Dream Activity. An Objective Method of the Study of Dreaming". *J. Exp. Psychol.*, 1957, 53, 339.
128. DEMPSEY, E. W. and MORISON, R. S. - "The Production of Rhythmic Waves by Recurrent Cortical Potentials after Localized Thalamic Stimulation", *Am. J. Physiol.*, 1942, 135, 293.
129. DEMPSEY, E. W. and MORISON, R. S. - "The Electrical Activity of a Thalamo-Cortical Relay System", *Am. J. Physiol.*, 1943, 138, 283.

130. DERWORT, A. - "Über Vestibular Induzierte Dysmorphopsien", Deutsche Ztschr. Nervenh., 1953, 170, 295.
131. DEUTSCH, J. A. - "A Theory of Shape Recognition", Brit. J. Psych., 1955, 46, 30.
132. DITCHBURN, R. W. and GINSBORG, D. L. - "Vision with a Stabilized Retinal Image", Nature, 1952, 170, 36.
133. DITCHBURN, R. W. and GINSBORG, D. L. - "Involuntary Eye Movements during Fixation", J. Physiol., 1953, 119, 1.
134. DITTLER, R. - "Über die Raumfunktion der Netzhaut in ihrer Abhängigkeit vom Lagegefühl der Augen und vom Labyrinth", Z. Sinnesphysiol., 1921, 52, 274.
135. DOTY, R. W. - "Brain Stimulation and Conditional Reflexes", in The Central Nervous System and Behaviour, Ist. Conference, M. Brazier (Ed.), pp. 241-306, 1958, J. Macey Found., New York.
136. DOTY, R. W. - Potentials Evoked in Cat Cerebral Cortex by Diffuse and by Punctiform Photic Stimuli. J. Neurophysiol., 1958, 21, 437.
137. DOTY, R. W. - Functional Significance of the Topographical Aspects of the Retino-Cortical Projection. In: Neurophysiologie und Psychophysik des visuellen Systems, R. Jung and H. Kornhuber (Eds.), pp. 228-247, 1961, Springer, Berlin.
138. DOTY, R. W. and GIURGEA, C. - "Conditioned Reflexes Established by Coupling Electrical Excitation of the Cortical Areas", in Brain Mechanisms and Learning", J. Delafresnaye (Eds.), 1961, Blackwell, Oxford.
139. DUENSING, F. - "Die Erregungskonstellationen im Rautenhirn des Kaninchens bei den Labyrinthstellreflexen (Magnus) Naturwissenschaften, 1961, 48, 681.
140. DUENSING, F. and SCHAEFER, K. P. - "Die Neuronenaktivität in der Formatio reticularis des Rhombencephalons beim vestibulären Nystagmus", Arch. Psychiat., 1957, 196, 265.
141. DUENSING, F. and SCHAEFER, K. P. - "Die Aktivität einzelner Neurone im Bereich der Vestibulariskerne bei Horizontalbeschleunigungen unter besonderer Berücksichtigung des vestibulären Nystagmus", Arch. Psychiat., 1958, 198, 225.
142. DUENSING, F. and SCHAEFER, K. P. - "Über die Konvergenz verschiedener labyrinthärer Afferenzen auf einzelne Neurone des Vestibulariskerngebietes", Arch. Psychiat., 1959, 199, 345.
143. DUENSING, F. and SCHAEFER, K. P. - "Die Aktivität einzelner Neurone der Formatio reticularis des nicht gefesselten Kaninchens bei Kopfwendungen und vestibulären Reizen", Arch. Psychiat., 1960, 201, 97.
144. ECCLES, J. C. - The Neurophysiological Basis of Mind, 1952, Oxford U. P., Oxford.
145. ECCLES, J. C. - Physiology of Nerve Cells, 1957, Oxford U. P., Oxford.
146. ECCLES, J. C. - "The Synaptic Mechanism for Post-synaptic Inhibition", in Nervous Inhibition, E. Florey (Ed.), pp. 71-86, 1961, Pergamon, Oxford.
147. ECKEL, W. - "Elektrophysiologische und histologische Untersuchungen im Vestibulariskerngebiet bei Drehreizen", Arch. Ohren-Nasen und Kehloph., 1954, 164, 487.
148. ELSDRED, S. H., BELL, N. W., SHERMAN, L. J. and LONGABAUCH, R. A. - "Classification and Analysis of Interaction Patterns on a Ward for Chronic Schizophrenics", in Disorders of Communication, D. McK. Rioch, E. A. Weinstein, (Eds.), pp. 373-380, 1964, William and William, Baltimore.
149. ELSPAS - "The Theory of Autonomous Linear Sequential Networks", IRE Trans., 1959, vol. CT-6, pp. 45.
150. ENROTH, C. - "The Mechanism of Flicker and Fusion Studied on Retinal Elements in the Dark-adapted Eye of the Cat", Acta physiol. scand., 1952, 27, Suppl., 100.
151. ENROTH, C. - "Spike Frequency and Flicker Fusion Frequency in Retinal Ganglion Cells", Acta physiol. scand., 1953, 29, 19.
152. EVARTS, E. V. - "Effects of Sleep and Waking on Activity of Single Units in the Unrestrained Cat", in The Nature of Sleep, G. Woldtenholme, M. O'Connor (Eds.), pp. 171-187, 1961, Churchill, London.
153. EY, H. - Études Psychiatriques, vol. III, 1954, Desclée de Brouwer et Cie., Paris.
154. EYSENCK, H. J. - The Structure of Human Personality, 1953, Methuen, London.
155. FATT, P. - "The Change in Membrane Permeability during the Inhibitory Process", in: Nervous inhibition, E. Florey (Ed.), pp. 87-91, 1961, Pergamon, Oxford.
156. FECHNER, G. T. - Elemente der Psychophysik, 1860, Breitkopf und Härtel, Leipzig.
157. FERNANDES, H. J. BARAHONA - "Uma Hipótese sobre as Relações Psicofísicas", A Med. Contempor., 1965, 73, 3.
158. FERNANDES, H. J. BARAHONA - "Filosofia e Psiquiatria", 1966, Atlântida Ed., Lisboa.
159. FERNANDES, H. J. BARAHONA - "Système Hormo-Thymique de P. Giraud et Modèles Théoriques de la Personnalité", Évolut. Psychiat., 1966, 2, 167.
160. FERNANDES, H. J. BARAHONA - "Um Modelo Teórico da Personalidade em Situação como Ordenador da Psiquiatria Clínica", J. do Médico, 1966, 61, 625.
161. FERRIER, D. - "Experiments on the Brain of Monkeys", Phil. Trans., 1876, 165, 433.
162. FESSARD, A. - "Le Conditionnement considéré à l'échelle du Neurone", in The Moscow Colloquium of Electroencephalography of Higher Nervous Activity, H. H. Jasper, G. D. Smirnov (Eds.), pp. 157-184, 1960, Electroencephalog. clin. neurophysiol., Suppl. 13.
163. FESSARD, A. - "The Role of Neuronal Networks in Sensory Communication within the Brain", In: Sensory Communication, Symposion, W. A. Rosenblith (Ed.), pp. 585-606, 1961, MIT Press, John Wiley.
164. FESSARD, A. et ALBERT MALLART - "Existence de Réponses d'origine Visuelle et Auditive dans le Centre Médian du Thalamus du Chat anesthésié au Chloralose", Comptes rend. Acad. Sc., 1960, 251, 1040.
165. FESSARD, A. et GASTAUT, H. - "Corrélations Neurophysiologiques de la Formation des Réflexes Conditionnels", In Le Conditionnement et l'Apprentissage, 1958, P. U. F., Paris.
166. FESSARD, D. A. et GILLET, E. - "Convergences d'Afférences d'Origines Corticale et Périphérique vers le Centre Médian du Chat Anesthésié ou Éveillé", Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1961, 13, 257.
167. FESSARD, D. A., OSWALDO CRUZ et ROCHA MIRANDA - "Activités évoquées dans le noyau caudé du chat en réponse à des types divers d'afférences. Étude macrophysiologique. EEG, Clin. Neurophysiol., 1960, 12, 405.
168. FESSARD, D., ROCHA-MIRANDA, C. et OSWALDO-CRUZ, E. - "Activités évoquées dans le noyau caudé du chat en réponse à des types divers d'afférences. II. Étude microphysiologique", Electroenceph. Clin. Neurophysiol., 1960, 12, 649.
169. FIRE, P. - "Boolean Operations on Binary Markov Chains", Report EDL-L 27, 1964, Sylvania Electronic Defense Laboratories.
170. FLANAGAN, J. L. - Speech Analysis Synthesis and Perception, 1965, Springer, Berlin.
171. FLEXNER, L. B., FLEXNER, J. B. and STELLAR, E. - Memory and cerebral protein synthesis in mice as affected by graded amounts of puromycin. Exper. Neurol., 1965, 13, 264.
172. FOERSTER, H. von - "Quantum mechanical Theory of Memory", In Cybernetics (Trans of the Sixth Conference), H. von Foerster (Ed.), pp. 112-133, 1949, Josiah Macey Found., New York.
173. FOERSTER, H. von - "On Self-organizing Systems and their Environments", in Self-organizing Systems, M. C. Yovits, S. Cameron (Eds.), pp. 7-30, 1960, Pergamon, New York.
174. FONSECA, J. L. SIMÕES DA - Neuronal Models, 1966, Publ. Centro de Estudos Egas Moniz, Lisboa, Portugal.
175. FONSECA, J. L. SIMÕES DA - "What is the 'Purpose' of Delay in Nets of Real Neurons?", Investigation Progress Report No. 2-B-1967, Centro de Estudos Egas Moniz, Lisbon, Portugal, December.

176. FONSECA, J.L. SIMÕES DA - "Representation of the Behaviour of non-linear Neural nets by Pseudo-Boolean Equations and Inequalities". Investigation Progress. Report No. 3-B-1967, Publ. Centro de Estudos Egas Moniz, Lisboa.
177. FONSECA, J.L. SIMÕES DA - "Auto-and Cross-Correlation in Nets of Neuromimes". Investigation Progress Report No. 4-C-1968, Centro de Estudos Egas Moniz, Lisboa, Portugal, February.
178. FONSECA, J.L. SIMÕES DA - "Information Retrieval in Neural Nets". Investigation Progress Report No. 5-C-1969, Centro de Estudos Egas Moniz.
179. FONSECA, J.L. SIMÕES DA and W.S. McCULLOCH - "Synthesis and Linearization of non-linear Feedback Shift Registers - Basis of a Model of Memory". Quarterly Progress Report No. 86, 1967, Research Laboratory of Electronics, M.I.T., June 15, pp. 355.
180. FONSECA, J.L. SIMÕES DA and W.S. McCULLOCH - "Neural Nets of Connectivity One that Form Closed Loops Without External Inputs". Quarterly Progress Report No. 86, 1967, Research Laboratory of Electronics, M.I.T., June 15, pp. 367.
181. FONSECA, J.L. SIMÕES DA and W.S. McCULLOCH - "Decidability in Shift-Register Theory". Quarterly Progress Report No. 86, 1967, pp. 370, Research Laboratory of Electronics, June 15.
182. FRANGOS, P. - "Reaktionen corticaler Neurone bei verschiedener Lichtintensität und ihre Beziehung zum Weber - Fechner - Gesetz". Inaug. Diss. Med. Fakultät Freiburg, 1961.
183. FRENCH, J. D., V. AMERONGEN, F.K. and MAGOUN, H.W. - "An Activating System in Brain Stem of Monkey". A.M.A. Arch. Neurol. Psychiat., 1952, 68, 577.
184. FRENCH, J.D., HERNANDEZ-PEÓN, R. and LIVINGSTON, R.B. - "Projections from Cortex to Cephalic Brain Stem (Reticular Formation) in Monkey, J. Neurophysiol., 1955, 18, 74.
185. FREUD, S. - "Instinct and their Vicissitudes". Collected Papers, vol. 4, 1925, Hogarth, London.
186. FRIEDLAND, B. - "Linear Modular Sequential Circuits", IRE Trans. on Circuit, 1959, vol. CT-6, 61-68.
187. FRIEDLAND, B. and STERN, T.E. - "On Periodicity of States in Linear Modular Sequential Circuits", IRE Trans., 1959, vol. IT-5, pp. 136-137.
188. FRISCH, K. von - Vie et Moeure des Abeilles, 1955, Albin Michel, Paris.
189. FRITSCH, G. and HITZIG, E. - "Über die Elektrische Erregbarkeit des Grosshirns". Arch. f. Anat. Physiol. und Wissenschaftl. Mediz., 1870, 37, 300.
190. FUKUNAGA, K. - "A Theory of Non-linear Autonomous Sequential Nets Using Z Transforms", IEEE Trans., 1964, vol. EC-13, pp. 310-313.
191. GALAMBOS, R. - "Suppression of Auditory Nerve Activity by Stimulation of Efferent Fibers in the Cat. J. Neurophysiol., 1956, 19, 424.
192. GALAMBOS, R. - "Changing Concepts of the Learning Mechanisms". In Brain Mechanisms and Learning, J. F. Delafresnaye (Ed.) 231-241, 1961, Blackwell, Oxford.
193. GALAMBOS, R. and MORGAN, C.T. - "The Neural Basis of Learning", in Handbook of Physiology, J. Field (Ed.), Section I - vol. III, pp. 1471-1500, 1960, William and Wilkins, Baltimore.
194. GALAMBOS, R., SHEATZ, G. and VERNIER, V.E. - "Electrophysiological Correlates of Conditioned Responses in Cat".
195. GARCIA - AUSTT, E., VANZULLI, A., BOGAEZ, J. and RODRIGUEZ - BARRIOS, R. - "Influence of the Ocular Muscles upon Photic Habituation in Man". Electroencephal. Clin. Neurophysiol., 1963, 15, 281.
196. GARMEZY, N. - "Contributions of Experimental Psychology to Understanding the Origins of Schizophrenic", in The Origins of Schizophrenia, J. Romano (Ed.), pp. 201-213, 1967, Excerpta Medica, The Hague.
197. GASTAUT, H. - "Psychomotor and Temporal Epilepsy", Epilepsia, 1953, 2, 59.
198. GASTAUT, H. - "The Role of the Reticular Formation in Establishing Conditioned Reactions". In H.S. Jaspers and al. (Ed.), Reticular Formation of the Brain, pp. 561-579, 1958, Churchill, London.
199. GASTAUT, H. and FISCHER-WILLIAMS, M. - "The Physiopathology of Epileptic Seizures", in Handbook of Physiology, J. Field (Ed.), pp. 329-364, 1959, Section I, vol. I, William and Wilkins, Baltimore.
200. GASTAUT, H., NAQUET, R., ROGER, A., DONGIER, S., REGIS, H., MORRELL, F. et JUS, A. et C. - "Signification des Réactions Electroencephalographiques Conditionnées chez l'Homme". J. of Highest Nervous Activity I. P. Pavlov, 1957, 7, 185.
201. GASTAUT, H. et ROGER, A. - "Les Mécanismes de l'Activité Nerveuse Supérieure Envisagés au Niveau des Grandes Structures Fonctionnelles du Cerveau", in The Moscow Colloquium on Electroencephalography of Higher Nervous Activity, H.H. Jasper, G.D. Smirnov (Eds.), Electroencephalog., Clin. Neurophysiol., 1960, supplement 13, 13.
202. GEORGE, F.H. - The Brain as a computer, 1961, Pergamon, Oxford.
203. GERARD, R.W. - "The Fixation of Experience", in Brain Mechanisms and Learning, J. F. Delafresnaye (Ed.), pp. 21-35, 1961, Blackwell, Oxford.
204. GERNANDT, B. - "Responses of Mammalian Vestibular Neurons to Horizontal Rotation and Caloric Stimulation". J. Neurophysiol., 1949, 12, 173.
205. GERNANDT, B. - "Midbrain Activity in Responses to Vestibular Stimulation". Acta physiol. scandinav., 1950, 21, 73.
206. GERNANDT, B.E. - "Vestibular Mechanisms", in Handbook of Neurophysiology, J. Field (Ed.), Section I, vol. I, pp. 549-563, 1959, William and Wilkins, Baltimore.
207. GERNANDT, E. - "Generation of Labyrinthine Impulses, descending Vestibular Pathways, and Modulation of Vestibular Activity by Proprioceptive, Cerebellar and Reticular Influences". Neural Mechanisms of the Auditory and Vestibular Systems, G.L. Rasmussen and W. Windle (Eds.), pp. 324-348, 1960, Charles C. Thomas, Springfield, I.P.P.
208. GERNANDT, B. and THULIN, C.A. - "Vestibular Connections of the Brain Stem". Am. J. Physiol., 1952, 171, 121.
209. GESCHWIND, N. - "Disconnexion Syndromes in Animals and Man", Part I, Brain, 1965, 88, 237.
210. GESCHWIND, N. - "Disconnexion Syndromes in Animals and Man", Part II, Brain, 1965, 88, 585.
211. GIBBS, E.L., GIBBS, F.A. and FUSTER, B. - "Psychomotor epilepsy". Arch. Neurol., Psychiat., 1948, 50, 331.
212. GIBBS, F.A., GIBBS, E.L. and LENNOX, W.G. - "The Likeness of the Cortical Dysrhythmias of Schizophrenia and Psychomotor Epilepsy", Am. J. Psychiat., 1938, 5, 255.
213. GIBBS, E.L. and LENNOX, W.C. - "Epilepsy, a Paroxysmal Cerebral Disrhythmia". Brain, 1937, 60, 377.
214. GLOOR, P. - "Amygdala", in Handbook of Physiology, J. Field (Eds.), pp. 1395-1420, 1960, Section I, vol. II, William and Wilkins, Baltimore.
215. GRANIT, R. - "Rotation of Activity and Spontaneous Rhythms in the Retina". Acta Physiol. Scand., 1940, 1, 370.
216. GRANIT, R. - "A Physiological Theory of Colour Perception". Nature, 1943, 151.
217. GRANIT, R. - Receptors and Sensory Perception, 1955, Oxford U.P., London.
218. GRÁSTYÁN, E. - "The Hippocampus and Higher Nervous Activity". In The Central Nervous System and Behaviour, M. Brazier (Eds.) (Second Conference), pp. 119-205, 1958, Josiah Macy Found., New York.
219. GRÁSTYÁN, E. - "The Significance of the Earliest Manifestations of Learning". In Brain mechanisms and Learning, J. F. Delafresnaye (Ed.), pp. 243-263, 1960, Blackwell, Oxford.
220. GRÁSTYÁN, E., KARMOS, G., VERECZKEY, L. and KELLENYI, L. - "The Hippocampal Electrical Correlates of the Homeostatic Regulation of Motivation". EEG Clin. Neurophysiol., 1966, 21, 34.
221. GRÁSTYÁN, E., KARMOS, G., VERECZKEY, L., MARTIN, J. and KELLENYI, L. - "Hypothalamic Motivational Processes, as Reflected by their Hippocampal Electrical Correlates". Science, 1965, 149, 91.

222. GRASTYÁN, E., LISSAK, K. and KEKESI, F. - "Facilitation and Inhibition of Conditioned Alimentary and Defensive Reflexes by Stimulation of the Hypothalamus and Reticular Formation" *Acta Physiol. Acad. Scient. Hungarica*, 1956, 9, 133.
223. GRÈCO, P. - "Induction, Déduction et Apprentissage", in *la Logique des Apprentissages*, J. Piaget (Ed.), pp. 3-54, 1959, PUF, Paris.
224. GREEN, J. D. - "The Rhinencephalon: Aspects of its Relation to Behaviour and the Reticular Activating System" in *Reticular Formation of the Brain* H. H. Jasper and al. (Eds.), 1958, Little Brown, Boston.
225. GREEN, J. D. and ARDUINI, A. A. - "Hippocampal Electrical Activity in Arousal" *J. Neurophysiol.*, 1954, 17, 533.
226. GREEN, J. D. and MACHNE, X. - "Unit Activity of Rabbit Hippocampus" *Amer. J. Physiol.*, 1955, 181, 219.
227. GREENBERG, J. H. - *Essays in Linguistics*, 1957, Phoenix Book, University of Chicago Press, Chicago.
228. GREENBERG, J. H. - "Some Universals of Grammar with Particular Reference to the Order of Meaningful Elements", in *Universals of Language*, S. H. Greenberg (Ed.), pp. 73-113, 1963, MIT Press, Cambridge, Mass.
229. GREGORY, R. L. - "The Brain as an Engineering Problem". In *Current problems in animal behaviour*, W. Thorpe, O. Zangwill (Eds.), 307-330, 1961, Cambridge, U. P., Cambridge, Mass.
230. GREGORY, R. L. - "Seeing in Depth". *Nature*, 1965, 207, 16.
231. GRENELL, R. G. - "Molecular Biology and Psychopathology", in *Some Biological Aspects of Schizophrenic Behaviour*, D. V. Siva Sankar (Ed.), Ann., N. York Acad. Sci., 1926, 86, 345.
232. GRINKER, R. R. - "Reception of Communications by Patients in Depression States", in *Discorders of Communication*, D. Mck. Rioch, E. A. Weinstein (Eds.), pp. 381-388, 1964, William and Wilkins, Baltimore.
233. GRÜSSER, O. J. and CREUTZFELDT, O. - "Eine neurophysiologische Grundlage des Brücke - Bartley - Effektes: Maxima der Impulsfrequenz retinaler und corticaler Neurone bei Flimmerlicht mittlerer Frequenzen". *Pflügers Arch. ges. Physiol.*, 1957, 263.
234. GRÜSSER, O. J. and GRÜSSER-CORNEHLS, U. - "Mikroelektrodenuntersuchungen zur Konvergenz Vestibulärer und Retinaler Afferenzen an einzelnen Neuronen des Optischen Cortex der Katze" *Pflügers Arch. ges. Physiol.*, 1960, 270, 227.
235. GRÜSSER, O. J. and GRÜSSER-CORNEHLS, U. - "Entladungsmuster der Neurone des Visuellen Cortex bei Monocularer und Binocularer Belichtung". *Pflügers Arch. Ges. Physiol.*, 1960, 272, 51.
236. GRÜSSER, O. J., GRÜSSER-CORNEHLS, U. and SAUR, G. - "Reaktionen einzelner Neurone im optischen Cortex der Katze nach elektrischer Polarisation des Labyrinths" *Pflügers Arch. Ges. Physiol.*, 1959, 269, 593.
237. GRÜSSER, O. J. and GRÜSSER-CORNEHLS, U. - "Reaktionsmuster einzelner Neurone im Geniculatum laterale und Visuellen Cortex der Katze bei Reizung mit Optokineticischen Streifenmustern". In *Neurophysiologie und Psychophysik des Visuellen Systems*, R. Jung, H. Kornhuber (Eds.), pp. 313-326, 1961, Springer, Berlin.
238. GRÜSSER, O. J. and GRÜTZNER, A. - "Neurophysiologische Grundlagen der periodischen Nachbildphasen nach kurzen Lichtreizen" *Albrecht J. Graefes Arch. Ophthalm.*, 1958, 1960, 65.
239. GRÜSSER, O. S. and RABELO, C. - IV Internat. EEG Congress, Bruxelles, 1957, 153.
240. GRÜSSER, O. J. and SAUR, G. - "Monoculare und Binoculare Lichtreizung einzelner Neurone im Geniculatum laterale der Katze" *Pflügers Arch. Ges. Physiol.*, 1960, 271, 595.
241. GRÜSSER-CORNEHLS, U. and GRÜSSER, O. J. - "Reaktionsmuster der Neurone im zentralen visuellen System von Fischen, Kaninchen und Katzen auf monoculare und binoculare Lichtreize". *Neurophysiologie und Psychophysik des visuellen Systems*, R. Jung, H. Kornhuber (Eds.), pp. 275-286, 1961, Springer, Berlin.
242. GÖDEL, K. - "Die Vollständigkeit der Axiome des logischen Funktionenkalküls", *Monats, Math, Phys.*, 1930, 37, 349.
243. GÖDEL, K. - "Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter System" *I Monats, Math. Phys.*, 1931, 38, 173.
244. GOLOMB, S. W. - "Sequences with Randomness Properties", Final Report on Contract No. W 36-039 SC-54-36611, 1955, Glenn L. Martin Co., Baltimore, Md.
245. GOLOMB, S. W. - "Non-linear Shift Register Sequence", Memorandum No. 20-149, 1957, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California.
246. GOLOMB, S. W., WELCH, L. R. and GOLDSTEIN, R. M. - "Cycles from Non-linear Shift Registers", 1959, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California.
247. GUALTIEROTTI, T. - "Changes of Visual Patterns Discrimination in Adult Cats after Removal of an Aspecific Area of Cerebral cortex". *Amer. J. Physiol.*, 1961, 200, 1215.
248. GUTHRIE, E. R. - "Conditioning as a Principle of Learning", *Psychol. Rev.*, 1933, 37, 412.
249. HALLE, M. - "On the Bases of Phonology", in *The Structure of Language*, J. Fodor, J. Katz (Eds.), pp. 324-333, 1964, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
250. HALLE, M. - "Place de la Phonologie dans la Grammaire Générative", *Langages*, 1967, 8, 13.
251. HALLE, M. and STEVENS, K. N. - "Speech Recognition: A Model and a Program for Research", in *The Structure of Language*, J. Fodor, J. Katz (Eds.), pp. 604-612, 1964, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
252. HAMMER, M. and SALZINGER, K. - "Some Formal Characteristics of Schizophrenic Speech as a Measure of Social Deviance", in *Can Psychopathology be measured?*, H. E. Whipple (Ed.), Ann. N. York Acad. Sci., 1964, 105, 861.
253. HARLOW, H. F. - "Affective Behaviour in the Infant Monkey", in *The Central Neurons System and Behavior*, M. Brazier (Eds.), Third Conference, 1960, pp. 307-358, Josiah Macy Jr. Foundation, N. York.
254. HARMON, L. D. and LEWIS, E. R. - "Neural Modeling", *Physiol. Rev.*, 1966, 46, 515-591.
255. HARRIS, Z. S. - "Discourse Analysis", *Language*, 1952, 28, 1.
256. HARRIS, Z. S. - "Structural Linguistics" *The University of Chicago Press Ed.*, 1960, Chicago.
257. HARTLEY, R. V. L. - "Transmission of Information", *Bell. Syst. Tech. Journ.*, 1928, 7, 535.
258. HARTLINE, H. K. - "The Response of Single Optic Nerve Fibers of the Vertebrate Eye to Illumination of the Retina". *Amer. J. Physiol.*, 1938, 121, 400.
259. HARTLINE, H. K. - "The Receptive Field of the Optic Nerve Fibers" *Amer. J. Physiol.*, 1940, 30, 239.
260. HARTLINE, H. K. - "Inhibition of activity of visual receptors by illuminating nearby areas in the Limulus eye.", *Fed. Proc.*, 1949, 8, 69.
261. HARTLINE, H. K., RATCLIFF, P. and MILLER, W. H. - "Inhibitory Interactions in the Retina and its Significance in Vision". In *Nervous Inhibition*, E. Florey (Ed.), pp. 241-284, 1961, Pergamon, Oxford.
262. HARTLINE, H. K., WAGNER, H. G. and McNICHOL, E. C. - "The Peripheral Origin of Nervous Activity in the Visual System", in *Cold Spr. Harb. Symp. Quant. Biol.*, 1952, 17.
263. HARTLINE, H. K., WAGNER, H. G. and RATLIFF, F. - "Inhibition in the Eye of Limulus" *J. Gen. Physiol.*, 1956, 39, 651.
264. HARTMANIS, J. - "Linear Multivalued Sequential Coding Networks", *IRE Trans.*, 1961, vol. CT-6, pp. 69-74.
265. HASENSTEIN, B. - "Omniatienraster und Afferente Bewegungsintegration", *Z. vergleich. Physiol.*, 1951, 33, 301.
266. HASENSTEIN, B. - "Die Stärke von Optokineticischen Reaktionen auf verschiedene Mustergeschwindigkeiten", *Z. Naturforsch.*, 1958, 13, 1.
267. HASENSTEIN, B. and REICHARDT, W. - "System Theoretische Analyse der Zeitreihenfolgen und Vorzeichenauswertung bei der Bewegung Perzeption des Rüsselkäfer *Thalopus*". *Z. Naturforsch.*, 1956, 11, 513.
268. HASSLER, R. - "Über die Afferenten Bahnen und Thalamuskerne des Motorischen Systems des Grosshirns. I. Mitteilung. Bindearm und Fasciculus thalamicus". *Arch Psychiat. Nervenkr.*, 1949, 182, 759.

269. HASSLER, R. - "Über die Afferenen Bahnen und Thalamuskern des Motorischen Systems des Grosshirns. II. Mitteilung Weitere Bahnen aus Pallidum, Ruber, vestibulärem System zum Thalamus; Übersicht und Besprechung der Ergebnisse". Arch. Psychiat., 1949, 182, 786.
270. HAZELTINE, B. - "Encoding of Asynchronous Sequential Circuits", IEEE Trans. on Elect. Comput., 1965, vol. EC-14, 727-729.
271. HEATH, R.G. - "Studies Towards Correlating Behavior with Brain Activity", in Pavlovian Conference on Higher Nervous Activity, N.S.Kline (Ed.), Ann. N. York Acad. Sc., 1961, 92, 1106.
272. HEBB, D.O. - The organization of Behavior, 1949, J. Wiley, New York.
273. HEBB, D.O. - "Drives and the C.N.S. (Conceptual Nervous System)", Psychological Review, 1955, 62, 243.
274. HECHT, S. - "The Visual Discrimination of Intensity and the Weber-Fechner-law", J. Gen. Physiol., 1925, 7, 235.
275. HECHT, S. - "The Development of Thomas Young's Theory of Color Vision", Journal of the Opticl. Society of America, 20 No. 5, May 1930, pp. 231-270.
276. VON HELMHOLTZ, H. - Helmholtz's treatise on Physiological Optics, 1962, Dover, New York.
277. HELSON, H. - "Adaptation-level as a Basis for a Quantitative Theory of Frames of Reference", Psychol. Rev., 1948, 55, 297.
278. HERDAN, G. - The Advanced Theory of Language as Choice and Chance, 1966, Springer, Berlin.
279. HERING, E. - "Grundzüge der lehre vom Lichtsinn", 1920, Springer, Berlin.
280. HERNANDEZ-PÉON, R. - "Reticular Mechanisms of Sensory Control". In Sensory Communication, Symposium, W. A. Rosenblith (Ed.), pp. 497-520, 1961, J. Wiley, New York.
281. HERNANDEZ-PÉON, R., BRUST-CARMONA, H., ECKANS, E., LOPEZ-MENDOZA, ALCOCER-CUARON, C. - "Functional Role of Brain Stem Reticular System in Salivary Conditioned Response", Fed. Proc., 1956, 15, 91
282. HERNANDEZ-PÉON, R.C. GUZMAN-FLORES, M. ALCARAZ and A. FERNANDEZ-GUARDIOLA - "Sensory transmission in Visual Pathway during "attention" in unanesthetized Cats" Acta neural lat. amer., 1957, 3, 1.
283. HERNANDEZ-PÉON, R. and HAGBARTH, K. E. - "Interaction between Afferent and Cortically induced Reticular Responses". J. Neurophysiol., 1955, 18, 44.
284. HERNANDEZ-PÉON, R., SCHERRER, H. and JOUVET, M. - "Modification of Electrical Activity in Cochlear Nucleus during "attention" in unanesthetized Cats". Science, 1956, 123, 331.
285. HESS, W.R. - Die funktionelle Organization des vegetativen Nervensystems, 1948, Benno Schwabe, Basel.
286. HESS, W.R. - Das Zwischenhirn, 1951, Benno Schwabe, Basel.
287. HILBERT, D. and ACKERMANN, W. - "Grundzüge der Theoretischen Logik", 1927, J. Springer, Berlin.
288. HILL, D. - "The Electroencephalographic Concept of Psychomotor Epilepsy", Congrès Neurologique International, 1949, vol. I, Masson, Paris.
289. HILL, D.K. - "The Volume Change Resulting from Stimulation of a Giant Nerve Fiber". J. Physiol., 1950, 111, 304.
290. HINDE, R.A. - "The Establishment of the Parent-Off Spring Relation in Birds, with some Mammalian Analogies", in Current Problems in Animal Behavior, W. Thorpe, O. Zangwill (Eds.), 1961, Cambridge U.P., Cambridge.
291. HINDE, R.A. - Animal Behavior, 1966, McGraw, New York.
292. HOLST, E. von und MITTELSTAEDT, H. - "Das Reafferenzprinzip". Naturwissenschaften, 1950, 37, 256.
293. HOWES, D. - "On the Relation between the Probability of Word as an Association and in General Linguistic usage". J. abnorm. soc. Psychol., 1957, 54, 75.
294. HOWES, D. and OSGOOD, C.E. - "On the Combination of Associative Probabilities in Linguistic Contexts", Amer. J. Psychol., 1954, 67, 241.
295. HUBEL, D.H. - "Tungsten Microelectrode for Recording from Single Units". Science, 1957, 125, 549.
296. HUBEL, D.H. - "Cortical Unit Responses to Visual Stimuli in Nonanesthetized Cats" Amer. J. Ophthal., 1958, 46, 110.
297. HUBEL, D.H. - "Single Unit Activity in Striate Cortex of Unrestrained Cats" J. Physiol., 1959, 147, 226.
298. HUBEL, D.H. - "Single Unit Activity in Lateral Geniculate and Optic Tract of Unrestrained Cats" J. Physiol., 1960, 150, 91.
299. HUBEL, D.H. and WIESEL, T.N. - "Receptive Fields of Single Neurons in the Cat's Striate Cortex", J. Physiology, 1959, 148, 574.
300. HUBEL, D.H. and WIESEL, T.N. - "Receptive Fields, Binocular Interaction and Functional Architecture in the Cat's visual Cortex". J. Physiol., 1962, 160, 106.
301. HUBEL, D.H. and WIESEL, T.N. - "Receptive Fields of Cells in Striate Cortex of very Young, Visually Inexperienced Kittens". J. Neurophysiol., 1963, 26, 994.
302. HUBEL, D.H. and WIESEL, T.N. - "Shape and Arrangement of Columns in Cat's Striate Cortex", J. Physiol., 1963, 165, 559.
303. HUBEL, D.H. and WIESEL, T.N. - "Receptive Fields and Functional Architecture in two Non-striate Visual Areas (18 and 19) of the Cat", J. Neurophysiol., 1965, 28, 229.
304. HUBEL, D.H. and WIESEL, T.N. - "Binocular Interaction in Striate Cortex of Kittens Reared with Artificial Squint". J. Neurophysiol., 1965, 28, 1041.
305. HUBEL, D.H. and WIESEL, T.N. - "Cortical and Callosal Connections Concerned with the Vertical Meridian of Visual Fields in the Cat". J. Neurophysiol., 1967, 30, 1561.
306. HUFFMAN, D.A. - "The Synthesis of Sequential Switching Circuits", J. Franklin Institute, 1954, 257, 161.
307. HUFFMAN, D.A. - "The Synthesis of Linear Sequential Coding Networks", in Information Theory, C. Cherry (Ed.), pp. 77-95, 1955, Butterworths, London.
308. HUFFMAN, D.A. - "A Linear Circuit Viewpoint on Error-Correcting Codes", IRE Trans., 1956, vol. IT-2, 20-28.
309. HUFFMAN, D.A. - "Canonical Forms for Information - Lossless Finite - State Logical Machines", Trans. IRE, 1959, vol. CF-6, Sp. Suppl., 41-59.
310. HULL, C.L. - Principles of Behavior, 1943, Appleton, New York.
311. HULL, C.L. - A Behaviour System, 1952, Yale U.P., New Haven.
312. INHELDER, B. and PIAGET, J. - "The growth of logical Thinking from Childhood to Adolescence: an essay on the construction of formal operational structure", 1955, New York, Basic Books.
313. IVANESCU, P.L. and RUDEANU, S. - Pseudo-Boolean Methods for Bivalent Programming, 1966, Springer, Berlin.
314. JACKSON, H. - "On a Reticular Variety of Epilepsy ("Intellectual Aura"), one Case with Symptoms of Organic Brain Disease", in Selected Writings, vol. I, pp. 385-405, 1958, Basic Books, New York.
315. JACKSON, H. - "On the Scientific and Empirical Investigation of Epilepsies", in Selected Writings, vol. I, pp. 162-273, 1958, Basic Books, New York.
316. JACKSON, H. - "On Temporary Mental Disorders after Epileptic Paroxysms", in Selected Writings, vol. I, pp. 119-135, 1958, Basic Books, New York.
317. JACKSON, H., and BEEVOR - "Case of Tumor of the Right Temporosphenoidal Lobe, Bearing on the Localisation of the Sense of Smell and on the Interpretation of a Particular Variety of Epilepsy", Brain, 1890, XII, 346.
318. JACKSON, H. and STEWART, P. - "Epileptic Attacks with a Warning of a Crude Sensation of Smell and with the Intellectual Aura (dreaming state) in a Patient with Basal Symptoms pointing to Gross Organic Disease of Right Temporosphenoidal Lobe", in Selected Writings, vol. I, pp. 464-473, 1958, Basic Books, New York.

319. JAKOBSON, R. - "The Phonemic Concept of Distinctive Features", in *Proceed. of the 4th Int. Cong. of Phonetic Sc.*, Helsinki, Mouton, 1962, The Hague.
320. JAKOBSON, R. - "Implications of Language Universals for Linguistics", in *Universals of Language*, J. H. Greenberg (Eds.), pp. 263-278, 1963, MIT Press, Cambridge, Mass.
321. JAKOBSON, R. - "On Visual and Auditory Signs", *Phonetica*, 1964, 11, 216.
322. JAKOBSON, R. - "Linguistic Types of Aphasia", in *Brain Function*, vol. III, E.C. Carterette (Ed.), pp. 67-91, 1964, No. 4, University of California Press, Berkeley.
323. JAKOBSON, R. - "A la Recherche de l'Essence du Langage", *Dogène*, 1965, 51, 21.
324. JAKOBSON, R. - *Fonema e Fonologia*, 1967, Livraria Acadêmica, Rio de Janeiro.
325. JAKOBSON, R., FANT, C. and HALLE, M. - "Preliminaries to Speech Analysis", 1951, MIT Press, Cambridge, Mass.
326. JAKOBSON, R. and HALLE, M. - "Fundamentals of Language", 1956, Mouton, The Hague.
327. JAMES, W. - *Principles of Psychology*, 1890, Holt, New York.
328. JASPER, H.H. - "Diffuse Projection Systems: The Integrative Action of Thalamic Reticular Systems" *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.*, 1949, 10, 405.
329. JASPER, H.H. - "Some Relationships between the Waves of the Cortex". *Excerpta medica (International Congress Series)*, 1951, 37, 1.
330. JASPER, H.H. - "Recent Advances in our Understanding of Ascending Activities of the Reticular System. In *Reticular Formation of the Brain*", H.H. Jasper, and al. (Eds.), pp. 319-331, 1958, Little Brown, Boston.
331. JASPER, H. and FORTUYN, J.D. - "Experimental Studies on the Functional Anatomy of Petit Mal Epilepsy". *A Research. Nerv. and Ment. Dis. Proc.*, 1946, 26, 272.
332. JASPER, PERTUISET, B. e FLANIGIN, H. - "E.E.G., and Cortical Electrograma in Patients with Temporal Lobe Seizures", *Arch. Neurol. e Psychiat.*, 1951, 65, 272.
333. JASPER, H., RICCI, G. and DOANE, B. - "Microelectrode Analysis of Cortical Cell Discharge during Avoidance Conditioning in the Monkey". In *The Moscow Colloquium on Electroencephalography of Higher Nervous Activity*, H. H. Jasper G.D. Smirnov (Eds.), *Electroencephalo. Clin. Neurophysiol.*, 1960, Supplement 13, 137-155.
334. JASPERS, K. - *Allgemeine Psychopathologie*, 1948, Springer, Berlin.
335. JAY, M. and NEFF, W.D. - "Frequency Discrimination after Bilateral Ablation of Cortical Auditory Areas". *J. Neurophysiol.*, 1961, 24, 119.
336. JOHN, E.R. and KILLAM, K.F. - "Electrophysiological Correlates of Avoidance Conditioning in the Cat". *J. Pharmacol. and Exper. Therap.*, 1959, 125, 252.
337. DE JONG, R.N. - "Psychomotor" or "Temporal Lobe" Epilepsy. A Review of the Development of our Present Concepts" *Neurology*, 1957, 1, 1.
338. JOUVET, M. - "Telencephalic and Rhombencephalic Sleep in the Cat", in *The Nature of Sleep*, G. Wolstenholm and M. O'Connor (Eds.), pp. 186-208, 1961, Churchill, London.
339. JOUVET, M. et HERNANDEZ-PEON, R. - "Mécanismes Neurophysiologiques concernant l'Habituation, l'Attention et le Conditionnement", *EEG Clin. Neurophysiol.*, 1957, Suppl. 6:39-49.
340. JOUVET, M. and MICHEL, F. - "Recherches sur l'Activité Électrique Cérébrale au Cours du Sommeil", *C.R.Soc.Biol.*, 1958, 152, 1167.
341. JUNG, R. - "Coordination of Specific and Nonspecific Afferent Impulses at Single Neurons of the Visual Cortex". In *Reticular Formation of the Brain*, H.H. Jasper et al. (Eds.), pp. 423-434, 1958, Little, Brown, Boston.
342. JUNG, R. - "Microphysiology of Cortical Neurons and its Significance for Psychophysiology". In *Festschrift Prof. C. Estable*, An. Fac. Med. Montevideo, 1959, 44, 323.
343. JUNG, R. - "Mikrophysiologie des Optischen Cortex: Koordination der Neuronentladungen nach Optischen, Vestibulären und Unspezifischen Afferenzen und ihre Bedeutung für die Sinnesphysiologie". 15. Gen. Assembly. Jap. Med. Congr., 693-698, 1959, Tokyo, 5.
344. JUNG, R. - "Microphysiologie Corticaler Neurone: Ein Beitrag zur Koordination der Hirnrinde und des Visuellen Systems", in *Structure and Function of the Cerebral Cortex. Proceedings of the Second International Meeting of Neurobiologists*, pp. 204-223, 1960, Elsevier, Amsterdam.
345. JUNG, R. - "Korrelationen von Neuronentätigkeit und Sehen", in *Neurophysiologie und Psychophysik des Visuellen Systems*, R. Jung and H. Kornhuber (Ed.), pp. 410-434, 1961, Springer, Berlin.
346. JUNG, R. - "Neuronal Integration in the Visual Cortex and its Significance for Visual Information". In *Sensory Communication*, W. Rosenblith (Ed.), pp. 627-674, 1961, The M.I.T. Press, John Wiley, New York.
347. JUNG, R., von BAUMGARTEN, R. and BAUMGARTNER, G. - "Mikroableitungen von Einzelnen Nervenzellen im Optischen Cortex: die Lichtaktivierten B-Neurone". *Arch. Psychiat. Nervenkr.*, 1952, 189, 521.
348. JUNG, R. and BAUMGARTNER, G. - "Hemmungsmechanismen und Bremsende Stabilisierung an Einzelnen Neuronen des Optischen Cortex: Ein Beitrag zur Koordination Corticaler Erregungsvorgänge". *Pflügers Arch. Ges. Physiol.*, 1955, 261, 434.
349. JUNG, R., CREUTZFELDT, O. et BAUMGARTNER, G. - "Microphysiologie des Neuronen Corticaux: Processus de Coordination et d'Inhibition du Cortex Optique et Moteur", in *Coll. Int. Microphysiol. - Centre Nac. Rech. Sci.*, pp. 411-434, 1957, N° 67, Paris.
350. JUNG, R., CREUTZFELDT, O. and GRÜSSER, O.J. - "Die Mikrophysiologie Corticaler Neurone und ihre Bedeutung für die Sinnes und Hirnfunktionen". *Dtsch. Med. Wschr.*, 1957, 82, 1050.
351. JUNG, R., KORNHUBER, H.H. and FONSECA, J.S. da - "Multisensory Convergence on Cortical Neurons: Neuronal effects of Visual Acoustic and Vestibular Stimuli in the Superior Convolutions of the Cat's Cortex". In *G. Moruzzi Albe-Fessard, H. H. Jaspers (Eds.), Brain Mechanisms*, pp. 207-240, 1963, Elsevier, Amsterdam.
352. KAADA, B.R. - "Cingulate, Posterior Orbital, Anterior Insular and Temporal Pole Cortex", in *Handbook of Physiology*, J. Field (Ed.), pp. 1345-1371, 1960, Section I, vol. II, William and Wilkins, Baltimore.
353. KANDEL, E.R. and TAUC, L. - "Augmentation Prolongée de l'Efficacité d'une Voie Afférente d'un Ganglion Isolé après l'Activation Couplée d'une Voie plus Efficace". *J. Physiol.*, 1963, 2, 271.
354. KANDEL, E.R. and TAUC, L. - "Mechanism of Prolonged Heterosynaptic Facilitation". *Nature*, 1964, 202, 145.
355. KANDEL, E.R. and TAUC, L. - "Heterosynaptic Facilitation in Neurons of the Abdominal Ganglion of *Aplysia Depilans*". *J. Physiol.*, 1965, 18, 1.
356. KANDEL, E.R. and TAUC, L. - "Mechanism of Heterosynaptic Facilitation in the Giant Cell of the Abdominal Ganglion of *Aplysia Depilans*". *J. Physiol.*, 1965, 181, 28.
357. KARN, H.W. - "Sensory pre-conditioning and Incidental Learning in Human Subjects" *J. Exp. Psychol.*, 1937, 37, 540.
358. KASANIN, J.S. - *Language and Thought in Schizophrenia*, 1944, University of California Press, Berkeley.
359. KATZ, J.J. and FODOR, J.A. - "The Structure of Semantic Theory" *Language*, 1963, 39, 170.
360. KATZ, J.J. and POSTAL, P.M. - "An Integrated Theory of Linguistic Descriptions", 1964, MIT Press, Cambridge, Mass.
361. KEMPINSKY, W.H. - "Cortical Projection of Vestibular and Facial Nerves in Cat". *J. Neurophysiol.*, 1951, 14, 203.
362. KEMPINSKY, W.H. and WARD, Jr. A.A. - "Effect of Section of Vestibular Nerve upon Cortically Induced Movement in Cat". *J. Neurophysiol.*, 1950, 13, 295.

363. KETY, S.S. - "The Relevance of Biochemical Studies to the Etiology of Schizophrenia", in *The Origins of Schizophrenia*, J. Romano (Ed.), pp. 35-41, 1967, Excerpta Medica, The Hague.
364. KILMER, W.L., McCULLOCH, W.S. and BLUM, J. - "Some Mechanisms for a Theory of the Reticular Formation", AF-AFOSR-1023-64, Final Scientific Report, 1967, Division of Engineering Research, Michigan State University, Lansing, Michigan, February 28.
365. KLEENE, S.C. - "Representation of Events in Nerve Nets and Finite Automata" in "Automata Studies", C. E. Shannon and J. McCarthy (Eds.), pp. 3-42, 1956, Princeton U.P., Princeton.
366. KLEIST, K. - "Aphasie und Geisteskrankheit", Münch. Med. Wochenschr. 1914, 61, 8.
367. KLEIST, K. - "Die paranoiden Schizophrenien", Nervenarzt, 1947, 18, 481.
368. KLEIST, K. und DRIEST, W. - "Die Katatonien auf Grund Katamnesticcher Untersuchungen. I. Teil". Z. ges. Neurol. Psychiat., 1937, 157, 479.
369. KLEIST, K., LEONHARD, K. and FAUST, E. - "Die Hebephrenien auf Grund von Katamnesticchen Untersuchungen. I Teil". Arch. Psychiat. Nervenkr., 1950, 185, 773.
370. KLÜVER, H. and BUCY, P.C. - "Preliminary Analysis of Functions of the Temporal Lobes in Monkeys". Arch. Neurol. Psychiat., 1939, 42, 979.
371. KOFFKA, K. - *Principles of Gestalt, Psychology*, 1935, Harcourt, New York.
372. KOGAN, A.B. - "Chronically Implanted Recording and Stimulating Microelectrodes". Commun Conf. Electrophysiol. Centr. Nerv. system, 1957, Leningrad.
373. KOGAN, A.B. - "The Manifestations of Processes of Higher Nervous Activity in the Electrical Potentials of the Cortex during the Behavior of Animals". In *The Moscow Colloquium of Electroencephalography of Higher Nervous Activity*, H. H. Jasper and G. D. Smirnov (Eds.), pp. 51-64, Electroencephal. Clin. Neurophysiol., Sup. 13, 1960.
374. KÖHLER, I. - "Über Aufbau und Wandlungen der Wahrnehmungswelt" Sitzber. Österr. Akad. Wiss. Hist. Kl., 1951, 227, 1.
375. KÖHLER, I. - "Umgewöhnung im Wahrnehmungsbereich". Pyramide, 1953, 3, 92, 109.
376. KÖHLER, W. - *Gestalt Psychology*, 1929, Liveright, New York.
377. KÖHLER, W. - "Relational Determination in Perception". In *Cerebral Mechanisms in Behavior*, L. A. Jeffress (Ed.), pp. 230-243, 1951, J. Wiley, New York.
378. KOLMOGOROFF, A. - "Intepolation und Extrapolation von stationärenzufälligen Folgen", Bull. acad. sci. U.S.S.R. Ser. math., 1942, 5, 3.
379. KÖNIG, A., und BRODHUN, E. - "Experimentelle Untersuchungen über die psychophysisch Fundamentalformel in bezug auf den Gesichtssinn", I.S.B. Akad. Wiss. Berlin, 1888, 2, 917.
380. KONORSKI, J. - *Conditioned Reflexes and Neuron Organization*, 1948, Cambridge U.P., Cambridge.
381. KONORSKI, J. - "Mechanisms of Learning", in *Physiological Mechanisms in Animal Behaviour*, Symposium, Soc. Exp. Biol., 1950, vol. IV.
382. KONORSKI, J. - "The Physiological Approach to the Problem of Recent Memory", in *Brain Mechanisms and Learning*, J. Delafresnaye (Ed.), pp. 115-132, 1951, Oxford, Blackwell.
383. KORNHUBER, H.H. - "Optokinetischer Nachnystagmus, vestibuläre Übererregbarkeit und periodischer Nystagmus alternans". Klin. Wochschr., 1962, 40, 549.
384. KORNHUBER, H.H. and DA FONSECA, J.S. - "Convergence of Vestibular, Visual and Auditory Afferents at Single Neurons of the Cat's Cortex" Fifth International Congress of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Rome, Sept., 1961, Excerpta Medica, Intern. Congres. Serv. No. 37, 1961.
385. KORNHUBER, H.H. and DA FONSECA, J.S. - "Opto-vestibular Integration in the Cat's Cortex" In *Symposium on the Ocular-motor System*, M. Bender (Ed.), 1961, pp. 239-279, P. Hoeber, New York.
386. KORNHUBER, H.H. and DA FONSECA, J.S. - *Arch. Ophthal.*, 1961, 66, 435.
387. KRETSCHMER, E., und ENKE - *Die Persönlichkeit der Athletiker*, 1936, G. Thieme Leipzig.
388. KUBIE, L. S. - "A Theoretical Application to some Neurological Problems of the Properties of Excitation Waves which Move in Closed Circuits", *Brain*, 1930, vol. 53, Part 2, p. 166.
389. KUBISTA, T. and MASSEY, J. - "Pseudo-Linear Generalized Shift-Registers", Department of Electrical Engineering 1966, University of Notre Dame, Notre Dame, Indiana.
390. KUFFLER, S.H. - "Discharge Patterns and Functional Organization of Mammalian Retina". *J. Neurophysiol.*, 1953, 16, 37.
391. LAND, E.H. - "Experiments in Color Vision". *Scientific American*, 1959, 84.
392. LAND, E.H. - "The Retinex", *Am. Scientis*, 1964, 52, 247.
393. LANDGREN, S. - "Convergence of Tactile, Thermal and Gustatory Impulses on Single Cortical Cells". *Acta Physiol. Scand.*, 1957, 40, 210.
394. LANDGREN, S. - "The Response of Thalamic and Cortical Neurons to Electrical Physiological Stimulation of the Cat's Tongue" In *Sensory Communication*, W. A. Rosenblith (Ed.), pp. 437-453, 1961, MIT Press, John Wiley, New York.
395. LANGE, C. - *The Emotions*, 1922, William and Wilkins, Baltimore.
396. LASHLEY, K. - "Selected Papers". (*The Neurophysiology of Lashley*), 1960, Mc Graw Hill, New York.
397. LEÃO, A.A.P. - "Spreading Depression of Activity in the Cerebral Cortex" *J. Neurophysiol.*, 1944, 7, 359.
398. LEE, Y.W. - "Statistical Theory of Communication", 1960, J. Wiley, New York.
399. LEEPER, R.W. and MADISON, P. - *Toward Understanding Human Personalities*, 1959, Appieton Century, New York.
400. LENNEBERG, E.H. - "The Capacity for Language Acquisition", in *The Structure of Language*, J. Fodor, S. Katz (Ed.), pp. 579-603, 1964, Prentice-Hall, Englewood, Cliffs, N.J.
401. LENNEBERG, E.H. - *Biological Foundations of Language*, 1967, J. Wiley, New York.
402. LERNER, S.B. - "Hazard Correction in Assynchronous Sequential Circuits". *IEEE Transactions on Electronic Computers*, 1965, vol. EC-14 No. 2, pp. 265-267.
403. LETTVIN, J.Y. - "Form-function Relations in Neurons". *Quart. Progr. Rept. No. 66*, 1962, 333-333, Research Lab. of Electron., MIT.
404. LETTVIN, J.Y., MATURANA, H.R., McCULLOCH, W.S. and PITTS, W.H. - "What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain". *Proc. Inst. Radio. Eng.*, 1959, 47, 1940.
405. LETTVIN, J.Y., MATURANA, H.R., PITTS, W.H. and McCULLOCH, W.S. - "Two Remarks on the Visual System of the Frog", in *Sensory Communication*, W. Rosenblith (Ed.), pp. 757-776, 1961, MIT Press and J. Wiley, New York.
406. LEWIS, G.I. - *A Survey of Symbolic Logic*, 1960, Dover, New York.
407. LI, C.L. - "The Inhibitory Effect of Stimulation of Thalamic Nucleus on Neuronal Activity in the Motor Cortex". *J. Physiol.*, 1956, 133, 40.
408. LI, C.L. - "Some Properties of Pyramidal Neurons in Motor Cortex with Particular Reference to Sensory Stimulation". *J. Neurophysiol.*, 1959, 22, 385.
409. LI, C., CHOW, S.N. and HOWARD, S.Y. - "Basic Mechanisms of Single Cell Discharge in the Cerebral Cortex". *Epilepsia*, 1961, 2, 13.
410. LI, C.L., CULLER, C. and JASPER, H.H. - "Laminar Microelectrode Analysis of Cortical Unspecific Recruiting Responses and Spontaneous Rhythms". *J. Neurophysiol.*, 1956, 19.

411. LI, C.L. and JASPER, H. - "Microelectrode Studies of the Electrical Activity of the Cerebral Cortex in the Cat". *J. Physiol.*, 1953, 121, 117.
412. LILLY, J.C. - "Learning Motivated by Subcortical Stimulation. The Start and Stop Patterns of Behavior". Reticular Formation of the Brain, H. H. Jasper and al. (Eds.), pp. 705-721, 1958, Churchill, London.
413. LINDSLEY, D.B. - "Emotion", in Handbook of Experimental Psychology, S.S. Stevens (Ed.), pp. 473-512, 1951, J. Wiley, N. York.
414. LINDSLEY, D.B. - "The Reticular System and Perceptual Discrimination", in the Reticular Formation of the Brain". H.H. Jasper and al. (Eds.), pp. 513-534, 1958, Little-Brown, Boston.
415. LINDSLEY, D.B., BOYDEN, J., MAGOUN, H.W. - "Effect Upon the EEG of Acute Injury to the Brain Stem Activating System". *J. Electroencephalog. Clin. Neurophysiol.*, 1949, 1, 475.
416. LINDSLEY, D.B., SCHREINER, L.H., KNOWLES, W.B., and MAGOUN, H.W. - "Behavioral and EEG Changes Following Chronic Brain Stem Lesions in the Cat". *Electroencephalog. Clin. Neurophysiol.*, 1950, 2, 483.
417. LISSAK, K. and GRASTYAN, E. - "The Changes of Hippocampal Electrical Activity during Conditioning", in The Moscow Colloquium on Higher Nervous Activity, H.H. Jasper, G. Smirnov (Eds.), *Electroencephalog. Clin. Neurophysiol.*, 1960, Suppl., 13, 271.
418. LIU, C.N. - "A State Variable Assignment Method for Assynchronous Sequential Switching Circuits", *JACM*, 1963, 10, 205.
419. LONG, R.G. - "Modification of Sensory Mechanisms by Subcortical Structures". *J. Neurophysiol.*, 1959, 22, 412.
420. LOOMIS, A.L., HARVEY, E.N. and HOBART, G.A. - "Cerebral States during Sleep, as studied by Human Brain Potentials", *J. Exp. Psychol.*, 1937, 21, 127.
421. LORENTE DE NÓ, R. - "Die Labyrinthreflexe auf die Augenmuskeln nach einseitiger Labyrinthextirpation nebst einer kurzen Angabe über den Nervenmechanismus der vestibulären Augenbewegungen" 1928, Urban und Schwarzenberg, Wien.
422. LORENTE DE NÓ, R. - "Die Augenmuskelreflexe beim Kaninchen und ihre Grundlagen". *Ergebn. Physiol., Biol. Chem. Exp. Pharmacol.*, 1931, 32, 73.
423. LORENTE DE NÓ, R. - "Vestibulo-ocular Reflex Arc". *Arch. Neurol. Psychiat.*, 1933, 30, 245.
424. LORENTE DE NÓ, R. - "Observations on Nystagmus". *Acta Otolaryng.*, 1935, 21, 416.
425. LORENTE DE NÓ, R. - "Analysis of the Activity of the Chains of Internuncial Neurons". *J. Neurophysiol.*, 1938, 1, 207.
426. LORENTE DE NÓ, R. - "Cerebral Cortex Architecture Intracortical Connections, Motor Projections". In *Physiology of The Nervous System*, by J. Fulton, 1943, Oxford University Press, Oxford.
427. LORENZ, K. - "The Comparative Method in Studying Innate Behaviour Patterns". Symposium of the Society for Experimental Biology, pp. 221-68, vol. 4, 1950, Cambridge University Press, Cambridge.
428. LORENZ, K. - "The Objectivistic Theory of Instinct". In *L'Instinct, Colloq. Found. Singer - Polignac*, pp. 51-76, 1956, Masson, Paris.
429. LÖWENSTEIN, O. - "The Effect of Galvanic Polarization on the Impulse Discharge from Sense Endings in the Isolated Labyrinth of the Thorn Ray (*Raja clavata*)". *J. Physiol.*, 1955, 127, 104.
430. LÖWENSTEIN, O. and SAND, A. - "The Mechanisms of the Semicircular Canal. A Study of the Responses of Single-Fibre Preparations to Angular Accelerations and to Rotation at Constant Speed". *Proc. R. Soc. Ser. B. Biol. Sc.* 1940, 129, 256.
431. LUCE, R.D. and RAIFFA, H. - *Games and Decisions*, 1957, J. Wiley, New York.
432. LUCKASIEWICZ, J. - "Philosophische Bemerkungen zu mehrwertigen Systemen des Aussagenkalküls". *C. R. Soc. d. Sc. et d. Ret. de Varsovie*, 1930, 23, 65.
433. LURIA, A.R. - "Verbal Regulation of Behavior", in *The Central Nervous System and Behavior*, M. Brazier (Ed.), Third Conference, 1960, pp. 359-424, Josiah Macey Jr. Foundation, N. York.
434. LURIA, A.R. - "The Role of Speech in the Regulation of Normal and Abnormal Behaviour", 1961, Pergamon Press, Oxford.
435. MACH, E. - *The Analysis of Sensations*, 1959, Dover, New York.
436. MACHNE, X., CALMA, I. and MAGOUN, H.W. - "Unit Activity of Central Cephalic Brain Stem in EEG Arousal". *J. Neurophysiol.*, 1955, 18, 547.
437. MACHNE, X. and SEGUNDO, J.P. - "Unitary Responses to Afferent Volleys in Amygdaloid Complex". *J. Neurophysiol.*, 1956, 19, 232.
438. MAC KAY, D.M. - "Communication and Meaning - A Functional Approach", in *Cross Cultural Understanding*, F.S.C. Northrop, H.H. Livingston (Eds.), pp. 162-179, 1964, Harper and Row, New York.
439. MAC KAY, D.M. - "Towards an Information - flow Model of Human Behavior". *Brit. J. Psychol.*, 1965, 47, 30.
440. MAC KAY, D.M. - "The Mechanization of Normative Behavior", in *Communication*, L. Thayer (Ed.), pp. 228-245, 1967, C. C. Thomas, Springfield, Ill.
441. MARKS, W.B., DOBELLE, W.H., MACNICHOL, E.F. - *Science*, 1964, 143, 1181 (Cit. G. Wald "Molecular Basis of Visual Excitation" *Science*, 1968, 162, 230).
442. MACLEAN, P.D. - "The Lymbic System (visceral brain) and Emotional Behavior". *Arch. Neurol. Psychiat.*, 1955, 73, 130.
443. MAGLEBY, K.B. - "The Synthesis of Nonlinear Feedback Shift Registers", Technical Report No. 6207-1, 1963, Stanford Electronics Laboratory, Stanford, California.
444. MAGNES, J., MORUZZI, G. and POMPEIANO, O. - "Electroencephalogram - Synchronizing Structures in the Lower Brain Stem", in *The Nature of Sleep*, G. Wolstenholme and M. O'Connor (Eds.), pp. 57-85, 1961, Churchill, London.
445. MAGOUN, H.W. - *The Waking Brain*, 1958, Charles C. Thomas, Springfield, Ill.
446. MAGOUN, H.W. - "Subcortical Mechanisms for Reinforcement". In H.H. Jasper, G.D. Smirnov (Eds.), *The Moscow Colloquium on Electroencephalography of the Higher Nervous Activity*, *Electroencephalog. Clin. Neurophysiol.*, 1960, Supplement 13, 221.
447. MAGOUN, H.W. and RHINES, R. - "An Inhibitory Mechanism in the Bulbar Reticular Formation". *J. Neurophysiol.*, 1946, 9, 165.
448. MAIER, N.R.F. and SCHNEIRLA, T.C. - *Principles of Animal Behavior*, 1935, MacGraw Hill, New York.
449. MANDELBRÖT, B. - "Linguistique Statistique Macroscopique", in *Logique, Langage et Théorie de l'Information*, pp. 1-75, 1957, PUF, Paris.
450. MARSHALL, W.H., TALBOT, S.A. and ADES, H.W. - "Cortical Response of the Anesthetized Cat to Gross Photoc and Electrical Afferent Stimulation". *J. Neurophysiol.*, 1943, 6, 1.
451. MASSEY, J. - "Shift-Register Synthesis and BCH Decoding". Quarterly Progress Report No. 85, 1967, pp. 239-240, Research Laboratory of Electronics, MIT.
452. MASSEY, J. and LIU, R. - "Application of Lyapunov's Direct Method to the Error-Propagation Effect in Convolutional Codes". *IEEE Trans.*, 1964, vol. IT-10, 248.
453. MASSEY, J. and LIU, R. - "Equivalence of Nonlinear Shift Registers". *IEEE Trans.*, vol. IT-10, 378.
454. MATURANA, H.R. and FRENK, S. - "Directional Movement and Horizontal Edge Detectors in the Pigeon Retina". *Sci.* 1963, 142, 977.

455. MATURANA, H. R., LETTVIN, J. Y., McCULLOCH, W. S. and PITTS, W. H. - "Anatomy and Physiology of Vision in the Frog (*rana pipens*)". *J. Gen. Physiol.*, 1960, 43, II Supplement, 129.
456. MAUZ, F. - *La Predisposición a los Ataques Convulsivos*, 1943, Ed. Morata, Madrid.
457. MAXWELL, J. C. - "On Governors". *Proc. Royal Soc., London*, 1868, 16, 270.
458. McCULLOCH, W. S. - "Agatha Tyche of Nervous System - The Lucky Reckoners", in "Mechanization of Thought Processes": Proceedings of a Symposium Held at the National Physical Laboratory, pp. 611-634, 1959, vol. II, No. 10, Her Majesty's St. Office, London.
459. McCULLOCH, W. S. - "The Reliability of Biological Systems", in "Self-organizing Systems", M. C. Yovits, S. Cameron (Eds.), pp. 264-281, 1960, Pergamon Press, New York.
460. McCULLOCH, W. S. - "The Utility of Anatomotic Nets", in Redundancy Techniques for Computing Systems, R. H. Wilcox, W. C. Mann (Eds.), pp. 62-65, 1962, Spartan Books, Washington.
461. McCULLOCH, W. S. - "Anastomotic Nets Combating Noise", in "Information Storage and Neural Control", W. S. Fields W. Abbott (Eds.), pp. 1-16, 1963, C. C. Thomas, Springfield, Ill.
462. McCULLOCH, W. S. - "A Historical Introduction to the Postulational Foundations of Experimental-Epistemology", in Cross Cultural Understanding, F. S. C. Nerthrop, H. H. Livingston (Eds.), pp. 180-193, 1964, Harper and Row, N. York.
463. McCULLOCH, W. S. - "Reliable Systems using Unreliable Units", in Disorders of Communications, vol. XLII, 1964, Research Publications ARNMD, Washington.
464. McCULLOCH, W. S. - *Embodiments of Mind*, 1965, M. I. T. Press, Cambridge, Mass.
465. McCULLOCH, W. S. and PITTS, W. H. - "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity", *Bull. Math. Biophys.*, 1943, 5, 115.
466. McCULLOCH, W. S. and SIMÕES DA FONSECA, J. - "Insight Into Neuronal Closed Loops from Shift-Register Theory". Quarterly Progress Report No. 85, 1967, pp. 325-327, Research Laboratory of Electronics, M. I. T.
467. McCOHIE, A. - "Studies of Cognitive Disorder in Schizophrenia", in Recent Developments in Schizophrenia, A. Coppen and A. Walk (Eds.), pp. 69-78, 1967, Headley, Ashford.
468. MICKLE, W. A. and ADES, H. W. - "A Composite Sensory Projection Area in the Cerebral Cortex of the Cat". *Am. J. Physiol.*, 1952, 170, 682.
469. MICKLE, W. A. and ADES, H. W. - "Rostral Projection of the Vestibular System". *Am. J. Physiol.*, 1954, 176, 243.
470. MIDDLETON, D. - *An Introduction to Statistical Communication Theory*, 1950, Mc Graw Hill, Inc. New York.
471. MILLER, G. et KONORSKI, J. - "Sur une Forme Particulière de Réflexe Conditionnel". *C.R. Soc. Biol.*, 1928, 99, 1158.
472. MILLER, G. A. - "The Magical Number Seven, Plus-or-minus Two". *Psychological Review*, 1956, 63, 81.
473. MILLER, G. A. - *Langage et Communication*, 1956, PUF, Paris.
474. MILLER, G. A. and CHOMSKY, N. - "Finitary Models of Language Users". *Handbook of Mathematical Psychology*. Luce Bush, Galanter (Eds.), vol. II, pp. 419-492, 1963, J. Wiley (Eds.), New York.
475. MILLER, G. A. and FRIEDMAN, E. A. - "The Reconstruction of Mutilated English Texts". *Inform. Control*, 1957, 1, 38.
476. MILLER, G. A. and LICKLIDER, J. C. R. - "The Intelligibility of Interrupted Speech". *J. Acous. Soc. Amer.*, 1950, 22, 167.
477. MILLER, G. A., SELFRIDGE, J. A. - "Verbal Context and The Recall of Meaningful Material". *Amer. J. Psychol.*, 1950, 478.
478. MILLNER, B. and PENFIELD, W. - "The Effect to Hippocampal Lesions on Recent Memory". *Trans. Amer. Neurol. Assoc.*, 1955, pp. 42-48.
479. MINKOWSKA, F. - *Le Rorschach*, 1956, Desclée de Brouwer, Paris.
480. MINSKY, M. - *Computation: Finite and Infinite Machines*, 1967, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. Jersey.
481. MINSKY, M. L. and PAPERT, S. A. - "Unrecognizable Sets of Numbers", Project MAC Progress Report III, Massachusetts Institute of Technology, July 1965 - July 1966, pp. 18-20.
482. MINSKY, M. and PAPERT, S. - "Linearly Unrecognizable Patterns", in *Mathematical Aspects of Computer Science*, Proceed. Symp. Appl. Math., 1967, 19, 47, 217.
483. MITTELSTAEDT, H. - "The Analysis of Behavior in Terms of Control Systems". 5th Conference on Group Processes, 1960, Conference Transactions, Josiah Macy Foundation, New York.
484. MONIZ, EGAS - "Tentatives Opératoires dans le Traitement de Certaines Psychoses", 1936, Masson, Paris.
485. MORENO-DIAZ, R. - "Stability of Networks with Loops", Quarterly Progress Report No. 83, 1966, Research Laboratory of Electronics, M. I. T.
486. MORENO-DIAZ, R. - "Realizability of a Neural Network Capable of all Possible Modes of Oscillation". Quarterly Progress Report No. 82, 1966, Research Laboratory Electronics, M. I. T., pp. 280-285.
487. MORGAN, C. T. - "Physiological Mechanisms of Motivation", in Nebraska Symposium on Motivation, Marshall R. Jones (Ed.), pp. 1-14, 1957, University of Nebraska Press, Lincoln.
488. MORISON, R. S. and DEMPSEY, E. W. - "A Study of Thalamo-Cortical Relations". *Am. J. Physiol.*, 1942, 135, 281.
489. MORISON, R. S. and DEMPSEY, E. W. - "Mechanisms of Thalamo-Cortical Augmentation and Repetition". *Amer. J. Physiol.*, 1942, 138, 297.
490. MORRELL, F. - "Effets de Lésions Épileptiques Focales sur la Formation de Connexions Temporaires chez le Singe". In *Conditionnement et Réactivité en Electroencephalographie*. *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.*, 1957, Supp. 6, 51.
491. MORRELL, F. - "Microelectrode and Steady Potential Studies Suggesting a Dendritic Loop of Closure". In *The Moscow Colloquium on Electroencephalography of Higher Nervous Activity*, H. H. Jasper, G. D. Smirnov (Eds.), *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.*, 1960, Suppl. 13, 65-79.
492. MORRELL, F. - "Effect of Anodal Polarization on the Firing Pattern of Single Cortical Cells". *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1962, 92, 860.
493. MORRELL, F. and JASPER, H. H. - "Electrographic Studies of the Formation of Temporary Connections of the Brain". *Electroencephalog. Clin. Neurophysiol.*, 1956, 20, 574.
494. MORRELL, F. and NAITOH, P. - "Effect of Cortical Polarization on a Conditioned Avoidance Response", *Exp. Neurol.*, 1962, 6, 507.
495. MORRIS, C. - *Signification and Significance*, 1964, MIT Press, Cambridge, Mass.
496. MORUZZI, G. - "The Physiological Properties of the Brain Stem Reticular System". In *Brain Mechanisms and Consciousness*, J. F. Delafresnaye (Ed.), pp. 21-48, 1954, Blackwell, Oxford.
497. MORUZZI, G. and MAGOUN, H. W. - "Brain Stem Reticular Formation and Activation of the E. E. G.". *J. Electroencephal. Clin. Neurophysiol.*, 1949, 1, 455.
498. MOUNTCASTLE, V. B. - "The Neural Replication of Sensory Events in the Somatic Afferent System", in *Brain and Conscious Experience*, J. C. Eccles (Ed.), pp. 85-116, 1966, Springer, New York.
499. MOWBRAY, G. H. and GEBHARD, S. W. - "Man's Senses as Informational Channels", Report CM-936, The John Hopkins University, Applied Physics Laboratory, Silver Spring, Maryland, May, 1958.
500. MOWLE, F. J. - "Enumeration and Classification of Stable Feedback Shift Registers", Technical Report No. EE-661, 1966, Department of Electrical Engineering, University of Notre Dame, Notre Dame, Indiana.
501. MOWRER, O. H. - *Learning Theory and Personality Dynamics*, 1950, Ronald Press, New York.
502. MÜLLER, G. E. - "Über das Aubert'sche Phänomen". *Z. Psychol.*, 1916, 49, II, 109.
503. MÜLLER, J. - *Zur Physiologie des Gesichtssinnes*, 1826, Leipzig.

504. NAKA, F., KOBAYASHI, N. and ONO, T. - "Neuronal Mechanism of Feeding", in Structure and Function of the Lymbic System, W. R. Adey, T. Tokizane (Eds.), pp. 1-33, 1967, Elsevier, Amsterdam.
505. NAUTA, W. J. H. and KUYPERS, H. G. J. M. - "Some Ascending Pathways in the Brain Stem Reticular Formation of the Cat". In: Reticular Formation of the Brain, H. H. Jasper and al., (Eds.), 1958, Boston, Little, Brown.
506. NAUTA, W. J. H. and WHITLOCK, D. G. - "An Anatomical Analysis of the Non-specific Thalamic Projection System". In Brain Mechanisms and Consciousness, J. F. Delafresnaye (Ed.), pp. 81-116, 1954, Blackwell, Oxford.
507. NEFF, W. D., FISHER, J. F., DIAMOND, I. T. and YELA, M. - "Role of Auditory Cortex in Discrimination Requiring Localization of Sound in Space". J. Neurophysiol., 1956, 19, 500.
508. Von NEUMAN, J. - "Probabilistic Logics and Synthesis of Reliable Organisms from Unreliable Components". In Automata Studies, C. E. Shannon, J. McCarthy (Eds.), pp. 43-98, 1956, Princeton U. P., Princeton.
509. Von NEUMAN, J. and MORGENSTERN, O. - "Theory of Games and Economic Behavior", 1944, Princeton, University Press, Princeton.
510. NEWELL, A., SHAW, J. C. and SIMON, H. A. - "A Variety of Intelligent Learning in a General Problem Solver", in Self Organizing Systems, M. C. Yovits, S. Camaron (Eds.), pp. 153-189, 1960, Pergamon Press, New York.
511. NEWELL, A., SHAW, J. C. and SIMON, H. A. - "Report on a General Problem-Solving Program", Proc. Int. Conf. on Information Processing, pp. 256-264, 1960, UNESCO, Paris.
512. NEWTON, I. - "Opticks", Reprint Dover Publ., New York.
513. NORTHROP, F. S. C. - "Toward a Deductively Formulated and Operationally Verifiable Comparative Cultural Anthropology", in: Cross Cultural Understanding, F. S. C. Northrop, H. H. Livingston (Eds.), pp. 194-222, 1964, Harper and Row, New York.
514. OLDS, J. - "Self-Stimulation Experiments and Differentiated Reward Systems", in Reticular Formation of the Brain, H. J. Jasper and al. (Eds.), pp. 671-687, 1958, Little Brown, Boston.
515. OLDS, J. - "Differentiation of Reward Systems in the Brain by Self-Stimulation Technics". In: Electrical Studies on the Unanesthetized Brain. Ramey, E. R. and O'Doherty, D. S. (Eds.), pp. 17-51, 1960, Hoeber, New York.
516. OLDS, J. and MILNER, P. - "Positive Reinforcement Produced by Electrical Stimulation of Septal Area and other Regions of Rat Brain", J. Comp. and Physiol., Psychol., 1954, 47, 419.
517. OLDS, J. and OLDS, M. E. - "Interference and Learning in Paleocortical Systems". In: Brain Mechanisms and Learning. Delafresnaye, J. R. (Ed.), pp. 153-187, 1961, Blackwell, Oxford.
518. O'LEARY, J. L. and GOLDRING, S. - "Changes Associated with Forebrain Excitation Processes: the Potentials of the Cerebral Cortex". In Handbook of Physiology, J. Field (Ed.), 1959, Section I, vol. I, 315-328, Amer. Physiol., Assoc., Washington.
519. OLÉRON, P. - "Les Habitudes Verbales", in Problèmes de Psycho-Linguistique, pp. 73-108, 1963, PUF, Paris.
520. OLSZEWSKI, J. - "The Cytoarchitecture of the Human Reticular Formation", in Brain Mechanisms and Consciousness, E. D. Adrian, F. Bremer, H. H. Jasper and J. F. Delafresnaye (Eds.), pp. 54-80, 1954, Blackwell, Oxford.
521. OLSZEWSKI, J. and BAXTER, D. - Cytoarchitecture of the Human Brain Stem., 1954, Lippincott, Philadelphia.
522. OSGOOD, C. E. - "Fidelity and Reliability", in Information Theory in Psychology, H. Quartler (Eds.), pp. 374-386, 1955, Free Press, Glencoe, Ill.
523. OSGOOD, C. E. - "Motivational Dynamics of Language Behavior", in Nebraska Symposium on Motivation, Marshall R. Jones (Ed.), pp. 348-423, 1957, University of Nebraska Press, Lincoln.
524. OSGOOD, C. E., SUCI, G. J. and TANNENBAUM, P. M. - The Measurement of Meaning, 1957, Urbana Univ. Press, Urbana.
525. OTSUKA, R. and HASSLER, R. - "Über Aufbau und Gliederung der Corticalen Sehspähre bei der Katze". Arch. Psychiat. Nervenkr., 1962, 203, 212.
526. PAPEZ, J. W. - "A Proposed Mechanism of Emotion". A. M. A. Arch. Neurol. and Psychiat., 1937, 38, 725.
527. PAPEZ, J. W. - "The Visceral Brain, its Components and Connections", in Reticular Formation of the Brain, H. Jasper and al. (Eds.), 1958, Little Brown, Boston.
528. PASK, G. - "The Natural History of Networks", in "Self-Organizing Systems", M. C. Yovits, S. Cameron (Eds.), pp. 232-261, 1960, Pergamon Press, New York.
529. PASK, G. - "A Proposed Evolutionary Model", in Principles of Self-Organization, H. von Foerster, G. W. Zopf, Jr. (Eds.), pp. 229-254, 1962, Pergamon Press, New York.
530. PAVLOV, J. P. - Conditioned Reflexes, 1937, Oxford U. P., Oxford.
531. PEIRCE, C. S. - "Elements of Logic", in The Collected Papers of C. Saunders Peirce, pp. 240-262, 1965, C. Harts-horne and P. Weiss (Eds.), Harvard U. P., Cambridge, Mass.
532. PENFIELD, W. and JASPER, H. - "Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain". 1954, Little Brown, Boston.
533. PENFIELD, W. and KRISTIANSEN, K. - Epileptic Patterns, 1951, Charles C. Thomas, Springfield.
534. PENFIELD, W. and MILNER, B. - "Memory Deficit Produced by Bilateral Lesions in the Hippocampal Zone". AMA Arch. Neurol. Psychiat., 1958, 79, 475.
535. PETERSON, W. W. - "Error Correcting Codes", 1961, M. I. T. Press, Cambridge, Mass.
536. PHILLIPS, C. G. - "Some Properties of Pyramidal Neurons of the Motor Cortex", in The Nature of Sleep, G. Wolsten-holme M. O'Connor (Eds.), pp. 4-29, 1961, Churchill, London.
537. PIAGET, J. - "Classes, Relations et Nombres. Essai sur les "Groupements" de la Logistique et la Reversibilité de la Pensée", 1942, Vrin, Paris.
538. PIAGET, J. - "Les Notions de Mouvement et de Vitesse chez l'Enfant", 1945, PUF, Paris.
539. PIAGET, J. - "The Psychology of Intelligence", 1947, Routledge and Paul Kegan (Ed.), London.
540. PIAGET, J. - "Le Problème Neurologique de l'Intériorisation des Actions en Opérations Réversibles". Arch. Psychol. (Genève), 1949, 32, 241.
541. PIAGET, J. - "Traité de Logique", 1949, Colin, Paris.
542. PIAGET, J. - The Origins of Intelligence in Children, 1952, Int. Univ. Press, New York.
543. PIAGET, J. - "Apprentissage et Connaissance", in J. Piaget Ed. "La Logique des Apprentissages", pag. 159-183, 1959, PUF, Paris.
544. PIAGET, J. - Les Mechanisms Perceptifs, 1961, PUF, Paris.
545. PIAGET, J. - "Le Langage et les Opérations Intellectuelles", in Problèmes de Psycho-Linguistique, pp. 50-72, 1963, PUF, Paris.
546. PIAGET, J. et INHELDER, B. - "Le Développement des Quantités chez l'Enfant. Conservation et Atomisme", 1940, Delachaux et Niestlé, Neuchatel.
547. PIAGET, J. et SZEMINSKA, A. - "Quelques Experiences sur Conservation des Quantités Continuées chez l'Enfant", J. Psychol. Norm. Path., 1939, 36, 36.
548. PITTS, W. and McCULLOCH, W. S. - "How we know Universals", Bull. Math. Biophys., 1947, 9, 127.
549. POST, E. L. - "Formal Reductions of the General Combinatorial Decision Problem", Amer. J. of Math., 1943, 65, 197.
550. PRITCHARD, R. M., HERON, W. and HEBB, D. O. - "Visual Perception Approached by the Methods of Stabilized Images". Canadian Journal of Psychol., 1960, 14 (2), 67.

551. QUADFASEL, A. F. and PRUYSER, P. W. - Cognitive Deficit in Patients with Psychomotor Epilepsy, *Epilepsia*, 1955, 4, 80.
552. QUASTLER, H. - "Information Theory Terms and their Psychological Correlates", in *Information Theory in Psychology*, H. Quastler (Ed.), pp. 143-171, 1955, Free Press, Glencoe, Ill.
553. QUINE, W. van O. - "Word and Object". The M.I.T. Press, 1960, Cambridge, Mass.
554. RABIN, M. O. and SCOTT, D. - "Finite Automata and their Decision Problems", *IBM J. of Research and Development* 1959, 3, 114, 125.
555. RANSON, S. W. - "Somnolence Caused by Hypothalamic Lesions in the Monkey". *Arch. Neurol. Psychiat.*, 1939, 41, 1.
556. RANSON, S. W. and HINSEY, J. C. - "Reflexes in the Hind Limbs of Cats after Transaction of the Spinal Cord at Various Levels". *Amer. J. Physiol.*, 1930, 94, 471.
557. RAZRAN, G. - "A Quantitative Study of Meaning by a Conditioned Salivary Technique (Semantic Conditioning)". *Sci.*, 1939, 90, 89.
558. RAZRAN, G. - "The Observable Unconscious and the Inferable Conscious in Current Soviet Psychophysiology: Interceptive Conditioning, Semantic Conditioning and the Orienting Reflex", *Psychol. Rev.*, 1961, 68, 81.
559. REED, I. S. - "Some Remarks on State Reduction of Asynchronous Circuits by the Paul - Unger Method" *IEEE Trans. on Electronic Computers*, 1965, vol. EC 14, 262.
560. REICHARDT, W. - "Auto-Correlation - a Principle for the Evaluation of Sensory Information by the C.N.S.", in "Sensory Communication, W. Rosenblith (Ed.), pp. 303-317, 1961, John Wiley, New York.
561. RICCI, G., DOANE, B. and JASPER, H. - "Microelectrode Studies of Conditioning: Technique and Preliminary Results". IV Congrès International d'Electroencephalographie et de Neurophysiologie Clinique et de la VIII Réunion de la Ligue Internationale contre l'Epilepsie, 1er Congrès Intern. des Sciences Neurologiques, Brussels, 1957, pp. 401-415.
562. RICHTER, C. P. - "Salt Appetite of Mammals: its Dependence on Instinct and Metabolism". In *l'Instinct*, Coll. Fond. Singer-Polignac, 577, 632, 1956, Masson, Paris.
563. RIESEN, A. H. - "The Development of Visual Perception in Man and Chimpanzee". *Science*, 1949, 106, 107.
564. RODNICK, E. H. and COARMEZY, N. - "An Experimental Approach to the Study of Motivation in Schizophrenia", in *Nebraska Symposium on Motivation*, Marshall R. Jones (Eds.), pp. 109-183, 1957, University of Nebraska Press, Lincoln.
565. ROSENBLUETH, A., WIENER, N. and BIGELOW, J. - "Behavior, Purpose and Teleology". *Philosophy of Science*, 1943, 10, 18.
566. ROSSI, G. F. and ZANCHETTI, A. - "The Brain Stem Reticular Formation. Anatomy and Physiology". *Arch. Ital. Biol.*, 1957, 95, Fasc. 3-4, 199.
567. ROUSINOV, V. S. et SMIRNOV, G. D. - Quelques Données sur l'Étude Electroencephalographique de l'Activité Nerveuse Supérieure. In *Conditionnement et Réactivité en Electroencephalographie*. *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.*, 1957, Supplement 6, 9.
568. ROWLAND, V. - Differential Electroencephalographic Response to Conditioned Auditory Stimuli in Arousal from Sleep, *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.*, 1957, 9, 585.
569. ROWLAND, V. - Studies on Learning. Steady Potential Shifts in Cortex", in *Brain Function (First Conference)*, M. Brazier (Ed.), pp. 136-176, 1963, University of California Press, Berkeley.
570. RUSSELL, S. and OCHS, S. - "Localization of a Memory Trace in One Cortical Hemisphere and Transfer to the other Hemisphere", *Brain*, 1963, 86, 37.
571. SANFORD, R. N. - "The Effects of Abstinence from Food upon Imaginal Processes: a Preliminary Experiment", *J. Psychol.*, 1936, 2, 129.
572. SAPIR, E. - "A Study in Phonetic Symbolism". *J. Exp. Psychol.*, 1929, 12, 225.
573. SAPORTA, S. - "Phoneme Distribution and Language Universals", in *Universals of Language*, J. H. Greenberg (Ed.), pp. 61-72, 1963, MIT Press, Cambridge, Mass.
574. SAUSSURE, F. - "Course in General Linguistics", 1959, Philosophical Library (Ed.), New York.
575. SCHEIBEL, M. E., SCHEIBEL, A. B., MOLLICA, A. and MORUZZI, G. - "Convergence and Interaction of Afferent Impulses on Single Units of Reticular Formation". *J. Neurophysiol.*, 1955, 18, 309.
576. SCHEIBEL, M. E. and SCHEIBEL, A. B. - "Structural Substrates for Integrative Patterns in the Brain Stem Reticular Core", in *Reticular Formation of the Brain*, H. H. Jasper and al. (Eds.), pp. 31-68, 1959, Little Brown, Boston.
577. SCHNABEL, C. P. J. - "Number of Modes of Oscillation of a Net of N Neurons", *Quarterly Progress Report No. 80*, 1965, p. 253, Research Laboratory of Electronics, M.I.T.
578. SCHNEIDER, C. - Die Psychologie der Schizophrenen, 1930, G. Thieme, Leipzig.
579. SCHNEIDER, K. - Klinische Psychopathologie, 1965, G. Thieme, Stuttgart.
580. SCHNEIERLA, T. C. - "Interrelationships of the 'Innate' and the 'Acquired' in Instinctive Behavior". In *l'Instinct*, Coll. Fond. Singer - Polignac, 1956, 387-452, Masson, Paris.
581. SCHOEN, L. - "Mikroableitungen einzelner zentraler Vestibularisneurone von Knochenfischen bei Statolithenreizen". *Z. Vergleichl. Physiol.*, 1957, 39, 399.
582. SCOVILLE, W. B. and MILNER, B. - "Loss of Recent Memory after Bilateral Hippocampal Lesions". *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 1957, 20, 11.
583. SEGUNDO, J. P. and MACHNE, X. - "Unitary Responses to Afferent Volleys in Lenticular Nucleus and Claustrum". *J. Neurophysiol.*, 1956, 19, 325.
584. von SENDEN, M. - Raum- und Gestaltauffassung bei operierten Blindgeborenen vor und nach der Operation, 1932, Barth, Leipzig.
585. SHANNON, C. E. - "A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits", *Trans. AIEE*, 1938, 57, 713.
586. SHAGASS, C. and SCHWARTZ, M. - "Excitability of the Cerebral Cortex in Psychiatric Disorders", in *Physiological Correlates of Psychological Disorders*, R. Roessler and N.S. Greenfield (Eds.), pp. 45-60, 1962, University of Wisconsin Press, Madison.
587. SHAKOW, D. - "Some Psychophysiological Aspects of Schizophrenia", in *The Origins of Schizophrenia*, J. Romano (Ed.), pp. 54-69, 1967, Excerpta Medica, The Hague.
588. SHANNON, C. E. - "The Synthesis of Two - Terminal Switching Circuits", *Bell System Tech. Jour.*, 1949, 28, 59.
589. SHANNON, C. E. - "Coding Theorems for a Discrete Source with a Fidelity Criterion". 1959, IRE National Convention Record, vol. 7, Part 4, pp. 142-163.
590. SHANNON, C. E. and WEAVER, W. - *The Mathematical Theory of Communication*, 1949, University of Illinois Press, Urbana.
591. SHANZER, S. and BENDER, M. B. - "Oculomotor Responses on Vestibular Stimulation of Monkeys with Lesions of the Brain-Stem". *Brain*, 1959, 82, 669.
592. SHARPLESS, S. and JASPER, H. - "Habituation of the Arousal Reaction". *Brain*, 1956, 79, 655.
593. SHERRINGTON, C. S. - *The Integrative Action of the Nervous System*, 1947, Yale U. P., New Haven.
594. SKINNER, B. F. - "Two Types of Conditioned Reflex and a Pseudo-type". *J. Gen. Psychol.*, 1935, 12, 66.
595. SKINNER, B. F. - *Verbal Behavior*, 1957, Appleton-Century, New York.
596. SLATER, E. T. O. and BEARD, A. W. - "The Schizophrenia-Like Psychoses of Epilepsy", *Brit. J. Psychiat.*, 1963, 109, 95

597. SMYTHIES, J.R. - "Recent Advances in the Biochemistry of Schizophrenia" in Recent Developments in Schizophrenia, A. Coppen and A. Walk (Eds.), pp. 61-69, 1967, Headley, Ashford.
598. SOLOMON, R.L. and POSTMAN, L. - "Frequency of Usage as a Determinant of Recognition Threshold for Words". *J. Exp. Psychol.*, 1952, 43, 195.
599. SOKOLOV, E.N. - "Neuronal Models and the Orienting Reflex", in The Central Nervous System and Behavior, M. Brazier (Ed.), Third Conference, 1960, pp. 187-276, Josiah Macy Jr., Foundation, N. York.
600. SPERRY, R.W. - "Cerebral Organization and Behavior", *Science*, 1961, 133, 1749.
601. SPERRY, R.W. - "Brain Bisection and Consciousness", in Brain and Conscious Experience, J.C. Eccles (Ed.), pp. 298-313, 1966, Springer, Berlin.
602. SRINIVASAN, C.V. - "State Diagram of Linear Sequential Machines", *J. Franklin Ins.*, 1962, 273, 383.
603. STARZL, T.E. and MAGOUN, H.W. - "Organization of the Diffuse Thalamic Projection System". *J. Neurophysiol.*, 1951, 14, 133.
604. STARZL, T.E., TAYLOR, C.W. and MAGOUN, H.W. - "Collateral Afferent Excitation of Reticular Formation and Brain Stem". *J. Neurophysiol.*, 1951, 14, 479.
605. STELLAR, E. - "The Physiology of Motivation", *Psychol. Rev.*, 1954, 61, 5.
606. STELLAR, E. - "Drive and Motivation", in Handbook of Physiology, J. Field (Ed.), pp. 1501-1528, 1960, Section I. vol. III, William and Wilkins, Baltimore.
607. STEPIEN, L. and SIERPINSKI, S. - "The Effect of Focal Lesions of the Brain upon Auditory and Visual Recent Memory in Man". *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 1960, 23, 334.
608. STERN, T.E. and FRIEDLAND, B. - "The Linear Modular Sequential Circuit Generalized", *IRE Trans.*, 1961, vol. CT-8, 79.
609. STEVENS, S.S. - "On the Psychophysical Law", *Psychol. Rev.*, 1957, 64, 153.
610. STEVENS, K.N. and HALLE, M. - "Remarks on Analysis by Synthesis and Distinctive Features", in Models for the Perception of Speech and Visual Form, W. Wathen-Dunn (Ed.), pp. 88-102, 1967, MIT Press, Cambridge, Mass.
611. STRATTON, G.M. - "Vision without Inversion of the Retinal Image". *Psychol. Rev.*, 1897, 4, 341.
612. STROKE, G.W. - An Introduction to Coherent Optics and Holography, 1966, Academic Press, N. York.
613. TASAKI, I., POLLEY, E.H. and ORREGO, F. - "Action Potentials from Individual Elements in Cat Geniculate and Striate Cortex". *J. Neurophysiol.*, 1954, 17, 454.
614. TAUC, L. and GERSCHENFELD, H.M. - "A Cholinergic Mechanism of Inhibitory Synaptic Transmission in a Molluscan Nervous System", *J. Neurophysiol.*, 1962, 57, 284.
615. TENG, P., SHANZER, S. and BENDER, M.B. - "Effects of Brain Stem Lesions on Optokinetic Nystagmus in Monkeys". *Neurology*, 1958, 8, 22.
616. TERZIAN, H. and ORE, G.D. - "Syndrome of Klüver and Bucy. Reproduced in Man by Bilateral Removal of the Temporal Lobes". *Neurology*, 1955, 5, 373.
617. TEUBER, H.L. - "Perception". In Handbook of Neurophysiology, J. Field (Ed.), Section I, vol. III, Chapter LXV, pp. 1595-1668, 1960, William and Wilkins, Baltimore.
618. TEUBER, H.L., and MISHKIN, M. - "Judgment of Visual and Postural Vertical after Brain Injury". *J. Psychol.*, 1954, 38, 161.
619. THOMPSON, R.F. and SINDBERG, R.M. - "Auditory Response Fields in Association and Motor Cortex". *J. Neurophysiol.*, 1960, 23, 87.
620. THORNDIKE, E.L. - Animal Intelligence. An Experimental Study of the Associative Processes in Animals. 1898, *Psychol. Monogr.*, 2, New York.
621. THORPE, W.H. - "Sensitive Periods in the Learning of Animals and Men: a Study of Imprinting with Special Reference to the Induction of Cyclic Behavior". In Current Problems in Animal Behavior, W. Thorpe O. Zangwill (Eds.), pp. 194-224, 1961, Cambridge U.P., Cambridge.
622. THORPE, W.H. - Learning and Instinct in Animals, 1963, Methuen, London.
623. THURSTONE, L.L. - Multiple Factor Analysis, 1947, University of Chicago Press, Chicago.
624. TINBERGEN, N. - The Study of Instinct, 195, Oxford U.P., Oxford.
625. TITCHENER, E.B. - A Textbook of Psychology, 1910, MacMillan, New York.
626. TOLMAN, E.C. - Purposive Behavior in Animals and Men. 1932, Century Co., N. York.
627. TOLMAN, E.C. - "The Determiners of Behavior at a Choice Point". *Psychol. Rev.* 1938, 1, 41.
628. TOMITA, T., KANEKO, A., MURAKANU, M., PAUTLER - Vision Res., 1967, 7, 519 (Cit. G. Wald "Molecular Basis of Visual Excitation", *Science*, 1968, 162, 230).
629. TOURNEY, G. Frohman, C., BECKETT, P. and GOTTLIEB, J. - "Biochemical Mechanisms in Schizophrenia", in Physiological Correlates of Psychological Disorder, R. Roessler, N.S. Greenfield (Eds.), pp. 13-28, 1967, University of Wisconsin Press, Madison.
630. TRACEY, J.H. - "Internal State Assignment for Assynchronous Sequential Machines", *IEEE Transaction on Electronic Computers*, 1966, vol. EC-15, 551
631. TREFF, W.M. and HEMPEL, K.J. - "Zur Frage quantitativ nachweisbarer pathologisch-anatomischer Befunde bei der Katatonie". *Arch. Psychiat. Nervenkr.*, 1959, 199, 508.
632. TREFF, W.M. and HEMPEL, K.J. - "Ergebnisse qualitativer und quantitativer Untersuchung in einem subcorticalen Griseum bei der Schizophrenie". *Dtsch. Z. Nervenheilk.*, 1960, 181, 241.
633. TRINCKER, D., SIEBER, J. and BARTUAL, J. - "Schwingungsanalyse der vestibulär, optokinetisch und durch elektrische Reizung ausgelösten Augengewegungen beim Menschen". *Kybernetik*, 1961, 1, 21.
634. TURING, A.M. - "On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungs Problem". *Proc. London Math. Soc.* (Series 2), 1936, 24, 230.
635. ULLMANN, S. - "Semantic Universals", in Universals of Language, J.H. Greenberg (Ed.), pp. 217-262, 1963, M.I.T. Press, Cambridge, Mass.
636. UNGER, S.H. - "Hazards and Delays in Assynchronous Sequential Switching Circuits", *IRE Transactions on Circuit Theory*, 1959, vol. CT-6, 12.
637. UNGER, S.H. - "A Row Assignment for Delay - Free Realizations of Flow Tables without Essential Hazards", *Proc. Seventh Annual Symposium on Switching and Automata Theory*, pp. 154-159, Oct. 1966.
638. UTTLEY, A.M. - "Imitation of Pattern Recognition and Trial and Error Learning in a Conditional Probability Computer". In Biophysical Science, J. Oncley (Ed.), pp. 546-548, 1959, J. Wiley, New York.
639. de VALOIS, R.L. - "Colour Vision Mechanism in the Monkey". *J. Gen. Physiol.*, 1960, 43, II Supp., 115.
640. VASTOLA, E.F. - "A Direct Pathway from Lateral Geniculate Body to Association Cortex". *J. Neurophysiol.*, 1961, 24, 469.
641. VENABLES, P.H. - "Partial Failure of Cortical-Subcortical Integration as a Factor Underlying Schizophrenic Behavior", in The Origins of Schizophrenia, J. Romano (Ed.), pp. 42-53, 1967, Excerpta Medica, The Hague.
642. VERBEEK, L.A.M. - "On Error Minimizing Neuronal Nets", in Principles of Self-Organization, H. von Foerster, G. W. Zopf Jr. (Eds.), pp. 121-133, 1962, Pergamon Press, New York.

Bases Neuronais da Vida Psíquica

643. VERZEANO, M. and NEZISHI, K. - "Neuronal Activity in Cortical and Thalamic Networks. A Study with Multiple Microelectrodes". *J. Gen. Physiol.*, 1960, 43, 177.
644. VINCE, M.A. - "Development Changes in Learning Capacity". In *Current Problems in Animals Behavior*, W. Thorpe O. Zangwill (Eds.), pp. 225-247, 1961, Cambridge U.P., Cambridge.
645. de VITO, R., BRUSA, A. and ARDUINI, A. - "Cerebellar and Vestibular Influences on Deitersian Units". *J. Neurophysiol.*, 1956, 19, 241.
646. VOGT, C. et O. - "Résultats de l'Étude Anatomique de la Schizofrenie". *Congr. Inst. Histopath. du Système Nerveux*, Rome, 1952.
647. VORONIN, L. et SOKOLOV, E. - "Les Relations entre les Réflexes d'Orientation et Conditionnées Chez l'Homme". *Westnik, Moscow Univers.*, 1955, 9, 39.
648. VORONIN, L.G. and SOKOLOV, E.N. - "Cortical Mechanisms of the Orienting Reflex and its Relation to the Conditioned Reflex". In *The Moscow Colloquium on Electroencephalography of Higher Nervous Activity*, H.H. Jasper G. D. Smirnov (Eds.), *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.*, 1960, Supplement 13, 335.
649. VYGOTSKY, L.S. - *Thought and Language*, 1968, MIT Press, Cambridge, Mass.
650. WALD, G., BROWN, P.K. and GIBBONS, I.R. - "Visual Excitation: A Chemo-Anatomical Study". *Symp. Soc. Exp. Biol.*, 1962, 16, 32.
651. WALTER, W. GREY, COOPER, R., ALDRIDGE, V.J., MacCALLUM, W.C. and WINTER, A.L. - "Contingent Negative Variation: an Electric Sign of Sensorimotor Association and Expectancy in the Human Brain". *Nature*, 1964, 203, 380.
652. WALZI, E.M. and MOUNTCASTLE, V. - "Projection of Vestibular Nerve to Cerebral Cortex of the Cat". *Amer. J. Physiol.*, 1949, 159, 595.
653. WEBER, E.H. - *De Tactu*, 1834.
654. WEINBERGER, N.M., VELASCO, M. and LINDSLEY, D.B. - "Effects of Lesions upon Thalamically Induced Electrocor-tical Desynchronization and Recruiting", *Electroencephalog. Clin. Neurophysiol.*, 1965, 18, 369.
655. WEINREICH, U. - "On the Semantic Structure of Language". In *Universals of Language*, J. H. Greenberg (Ed.), pp. 142-216, 1963, MIT Press, Cambridge, Mass.
656. WEITBRECHT, H.J. - "Depressive und Menische Endogene Psychosen", in *Psychiatrie der Gegenwart*, Gröhle und al. (Eds.), II vol., pp. 73-118, 1960, Springer, Berlin.
657. WERNER, H. and WRAPNER, S. - "Toward a General Theory of Perception". *Psychol. Rev.* 1954, 59, 324.
658. WERTHEIMER, M. - "Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt". *Psychologische Forschung*, 1922, 1.
659. WHITEHORN, J.C. - "Psychosocial Aspects of the Lives of Schizophrenic Patients", in *The Origins of Schizophrenia*, J. Romano (Ed.), pp. 276-278, 1967, Excerpta Medica, The Hague.
660. WHORF, B.L. - "Language, Thought and Reality". *Selected Writings*, J. B. Carroll (Ed.), 1956, MIT Press, Cambridge, Mass.
661. WIENER, N. - *Cybernetics*, 1949, MIT Press and J. Wiley, New York.
662. WIENER, N. - "Homeostasis in the Individual and Society". *J. Franklin Inst.*, 1951, 251, 65.
663. WIENER, N. - "Problems of Sensory Prosthesis", *Bull. of the Amer. Math. Soc.*, 1951, 57, 1.
664. WIENER, N., SCHADÉ, J.P. - "Introduction of Neurocybernetics". In *Nerve, Brain and Memory Models*, N. Wiener e J. Schadé (Eds.), 1963, 1-7, Elsevier, Amsterdam.
665. WIERSMA, C.A.G. - "Inhibitory Neurons: a Survey of the History of their Discovery and their Occurrence". In *Nervous Inhibition*. E. Florey (Ed.), pp. 1-7, 1961, Pergamon, New York.
666. WIESEL, T.N. and HUBEL, D.H. - "Effects of Visual Deprivation on Morphology and Physiology of Cells in the Cat's Lateral Geniculate Body". *J. Neurophysiol.*, 1963, 26, 978.
667. WIESEL, T.N. and HUBEL, D.H. - "Single-Cell Responses in Striate Cortex of Kittens Deprived of Vision in one Eye". *J. Neurophysiol.*, 1963, 26, 1003.
668. WIESEL, T.N. and HUBEL, D.H. - "Comparison of the Effects of Unilateral and Bilateral Eye Closure on Cortical Unit Responses in Kittens". *J. Neurophysiol.*, 1965, 28, 1029.
669. WIESEL, T.N. and HUBEL, D.H. - "Extent of Recovery from the Effects of Visual Deprivation in Kittens". *J. Neurophysiol.*, 1965, 28, 1060.
670. WIESEL, T.N. and HUBEL, D.H. - "Spatial and Chromatic Interactions in the Lateral Geniculate Body of the Rhesus Monkey". *J. Neurophysiol.*, 1966, 29, 1115.
671. WILSON, K. - "The Psychical Components of Temporal (Uncinate) Epilepsy", in *Modern Problem in Neurology*, 1928, Edward Arnold, London.
672. WINOGRAD, S. and COWAN, S.D. - "Reliable Computation in the Presence of Noise". 1963, MIT Press, Cambridge, Mass.
673. WISPE, L.G. - "Physiological Need, Verbal Frequency and Word Association". *J. Abnorm. Soc. Psychol.*, 1954, 49, 229.
674. WOLBARSH, M.L., WAGNER, and MacNICHOL Jr., E.F. - "Receptive Fields of Retinal Ganglion Cells: Extent and Spectral Sensitivity", in *Neurophysiologie und Psychophysik des visuellen Systems*, R. Jung, H. Kornhuber (Eds.), pp. 163-169, 1961, Springer, Berlin.
675. WOODWORTH, R.S. - *Psychologie Expérimentale*, 1949, PUF, Paris.
676. WOOLSEY, C.N. - "Organization of Cortical Auditory System", in *Sensory Communications*, W. A. Rosenblith (Ed.), pp. 235-258, 1961, John Wiley, New York.
677. WUNDT, W. - *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung*, 1862, Winter, Leipzig.
678. YNGVE, V.H. - "A Model and an Hypothesis for Language Structure", MIT, RLE, Technical Report 369, 1960, Cambridge, Mass.
679. YOSHII, N. - "Principles Méthodologiques de l'Investigation Electroencephalographique du Comportement Conditionné". In *Conditionnement et Réactivité in Electroencephalographie*. *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.*, 1957, Suppl. 6, 75.
680. YOUNG, T. - "On Physical Optics", from a Course of Lectures on Natural Philosophy and Mechanical Arts, vol. I, pp. 344-345, Taylor and Weldon, London.
681. YOUNG, T. - "On the Theory of Light and Colours" from *Lectures in Natural Philosophy*, London: Printed for Joseph Johnson, St. Paul's Churchyard, by William Savage, 107, pp. 613-632.
682. YOUNG, P.T. - "Affective Processes and Motivation, the Role of Affective Processes in Learning and Motivation". *Psychological Review*, 1959, 66, 104.
683. YOUNG, J. Z. - "The Memory System of the Brain", University of California Press, Berkley and Los Angeles, 1966.
684. ZIERLER, N. - "Several Binary-Sequence Generators". Technical Report No. 95, 1955, Lincoln Laboratory, MIT.
685. ZIERLER, N. - "Linear Recurring Sequences", *SIAM J.*, 1959, 7, 31-48.
686. ZIPF, G.K. - "The Psycho-biology of Language", 1955, Houghton Mifflin.