



Universidade
Federal
de Pernambuco

Pró-reitoria para Assuntos de Pesquisa e Pós-graduação
Centro de Ciências da Saúde
Curso de Mestrado em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento

André Luis Simões Brasil Ribeiro

Paradigmas Computacionais, Modelagem de Sistemas Naturais Conexionistas e Psicopatologia: Uma Revisão.

**RECIFE
2006**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

ANDRÉ LUIS SIMÕES BRASIL RIBEIRO

PARADIGMAS COMPUTACIONAIS, MODELAGEM DE SISTEMAS NATURAIS CONEXIONISTAS E PSICOPATOLOGIA: UMA REVISÃO.

Dissertação apresentada à Banca Examinadora como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento, área de concentração em Psiquiatria, pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Orientador:

Prof. Dr. Everton Botelho Sougey

RECIFE
2006

Ribeiro, André Luis Simões Brasil

Paradigmas computacionais, modelagem de sistemas naturais conexionistas e psicopatologia: uma revisão/
André Luis Simões Brasil Ribeiro. – Recife: O Autor, 2006.
136 folhas : il., fig.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCS. Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento, 2006.

Inclui bibliografia.

1. Psiquiatria. 2. Neurocomputação . I. Título.

616.89
616.89

CDU (2.ed.)
CDD (22.ed.)

;

UFPE
CCS2006-020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

REITOR

Prof. Dr. Amaro Henrique Pessoa Lins

VICE-REITOR

Prof. Dr. Gilson Edmar Gonçalves e Silva

PRÓ-REITOR DA PÓS-GRADUAÇÃO

Prof. Dr. Celso Pinto de Melo

CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

DIRETOR

Prof. Dr. José Thadeu Pinheiro

HOSPITAL DAS CLÍNICAS

DIRETOR SUPERINTENDENTE

Profa. Dra. Heloísa Maria Mendonça de Moraes

DEPARTAMENTO DE NEUROPSIQUIATRIA

Prof. Osmar Gouveia de Melo

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROPSIQUIATRIA E CIÊNCIAS
DO COMPORTAMENTO**

COORDENADOR

Prof. Dr. Marcelo Moraes Valença

VICE-COORDENADOR

Prof. Dr. Murilo Duarte Costa Lima

CORPO DOCENTE

Profa. Dra. Belmira Lara da Silveira Andrade da Costa

Prof. Dr. Everton Botelho Sougey

Prof. Dr. Gilson Edmar Gonçalves e Silva

Prof. Dr. Hildo Rocha Cirne de Azevedo Filho

Prof. Dr. João Ricardo de Oliveira

Prof. Dr. Luiz Ataíde Junior

Prof. Dr. Marcelo Moraes Valença

Profa. Dra. Maria Carolina Martins Lima

Profa. Dra. Maria Lúcia Simas

Prof. Dr. Murilo Duarte da Costa Lima

Prof. Dr. Othon Coelho Bastos Filho

Prof. Dr. Raul Manhães de Castro

Profa. Dra. Sheva Maia da Nóbrega

Prof. Dr. Wilson Farias Silva



Serviço Público Federal
Universidade Federal de Pernambuco
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM NEUROPSIQUIATRIA
E CIÊNCIAS DO COMPORTAMENTO

DEFESA DE DISSERTAÇÃO

MESTRANDA: : ANDRÉ LUIS SIMÕES BRASIL RIBEIRO

TÍTULO : "PARADIGMAS COMPUTACIONAIS, MODELAGEM DE SISTEMAS
NEURAIS CONEXIONISTAS E PSICOPATOLOGIA: UMA REVISÃO"

Orientador: Prof. EVERTON BOTELHO SOUGEY

BANCA EXAMINADORA:

Prof. WILLIAM AZEVEDO DUNNINGHAM-UFBA
Prof. EDSON COSTA DE BARROS CARVALHO FILHO- UFPE
Prof. JOÃO RICARDO MENDES DE OLIVEIRA- UFPE

LOCAL: AUDITÓRIO PROF. MURILO LA GRECA

Horário: 8h

Dia: 24.08.2006

Comentários: _____

Presidente: André Luis Simões Brasil Ribeiro
Examinador: William Azevedo Dunningham
Examinador: Edson Costa de Barros Carvalho Filho



Universidade
Federal
de Pernambuco

*Centro de Ciências da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Neuropsiquiatria
e Ciências do Comportamento*

RECIFE, 24 DE AGOSTO DE 2006

MENÇÃO DO MESTRANDO

ANDRÉ LUIS SIMÕES BRASIL RIBEIRO

APROVADO

REPROVADO

William Azevedo Dunningham
PROF. WILLIAM AZEVEDO DUNNINGHAM
Membro da Banca Examinadora



Universidade
Federal
de Pernambuco

*Centro de Ciências da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Neuropsiquiatria
e Ciências do Comportamento*

RECIFE, 24 DE AGOSTO DE 2006

*MENÇÃO DO MESTRANDO
ANDRÉ LUIS SIMÕES BRASIL RIBEIRO*

APROVADO X

REPROVADO _____

Edson Costa de Barros Carvalho Filho
PROF. EDSON COSTA DE BARROS CARVALHO FILHO
Membro da Banca Examinadora



Universidade
Federal
de Pernambuco

*Centro de Ciências da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Neuropsiquiatria
e Ciências do Comportamento*

RECIFE, 24 DE AGOSTO DE 2006

*MENÇÃO DO MESTRANDO
ANDRÉ LUIS SIMÕES BRASIL RIBEIRO*

APROVADO

REPROVADO

João Ricardo Mendes de Oliveira
PROF. JOÃO RICARDO MENDES DE OLIVEIRA
Presidente da Banca Examinadora

Dedicatória

A Deus, sobretudo.

*À minha amada esposa
Magnolia Schindler Freire Brasil Ribeiro.
Ao meu amado filho
Pedro Schindler Freire Brasil Ribeiro.
Perdoem-me pelos diversos momentos de
convivência que deixamos de usufruir.
Minha luta foi e sempre será para vocês.*

*Aos meus **Pais, Irmãos, Tios e Amigos** que
sempre incentivaram minha dedicação
acadêmica.*

Agradecimentos

A todos que, em algum momento de minha vida, acreditaram na minha luta.

Ao meu Mestre e Orientador Everton Botelho Sougey, que me acolheu e se tornou, além de um perfeito instrutor e guia, um amigo e inspiração para toda vida. Soube me ouvir e me direcionar, elogiar, respeitar e tolerar. Com orgulho posso ilustrar meu currículo com tal distinção.

Ao meu Mestre e Inspirador William Dunningham, que desde os primeiros momentos da minha vida com a Psiquiatria soube me ensinar e capacitar, fazendo-me um eterno estudante e sempre grato amigo (e afilhado).

Ao Professor Henrique Schützer Del Nero, que ajudou a sintonizar minha mente.

À Solange Lima Martins, minha aliada, amiga, incentivadora. Soube muito bem entender o quanto foi cansativo (e dispendioso) o ir e vir de uma ponte aérea entre Salvador e Recife.

À Radija Vasconcelos, Grace Sales e aos Laboratórios Pfizer que, de modo informal e sem contrapartida, colaboraram com incontáveis passagens aéreas entre Salvador e Recife e foram indispensáveis para a viabilidade logística desta Pós Graduação.

“Eu proponho uma questão: podem as máquinas pensar?
Esta deveria começar com definições sobre o significado dos termos
máquina e pensar”.

A.Turing (1950)

Sumário

Folhas de Aprovação.....	iv
Lista de Figuras.....	xii
Lista de Abreviaturas.....	xiii
Resumo.....	xiv
Abstract.....	xv
INTRODUÇÃO.....	16
OBJETIVOS.....	20
METODOLOGIA.....	22
ESTUDO DE REVISÃO.....	24
1. PROCESSAMENTO COGNITIVO E PARADIGMAS COMPUTACIONAIS.....	25
1.1. Processamento de Informações e Analogia Computacional.....	25
1.2. O Cérebro Computacional.....	29
1.3. Limitação Evolutiva do Cérebro e Recursos Acessórios ..	41
2. NEUROCOMPUTAÇÃO.....	46
2.1. Síntese Histórica.....	46
2.2. O Neurônio e as Redes Neurais Artificiais.....	51
2.3. Aprendizado e Auto-Organização de uma Rede Neural Artificial.....	60
2.4. Aplicações das Redes Neurais Artificiais.....	67
2.5. Experimentos com Redes Neurais Artificiais: Modelos Clássicos.....	70
3. MODELOS E ESTUDOS EM PSICOPATOLOGIA POR MODELAGEM CONEXIONISTA.....	78
3.1. Investigações Psicopatológicas e Redes Neurais Artificiais.....	78
3.2. Redes Neurais Artificiais e o Processamento de Informações nas Depressões.....	89
DISCUSSÃO.....	102
CONCLUSÕES.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122

Lista de Figuras

		Página
Figura 1	Representação de Neurônio Artificial	51
Figura 2	Exemplo de uma RNA de duas camadas com quatro entradas e duas saídas	55
Figura 3	Modelos de RNAs : Rummelhart e Hopfield	57
Figura 4	RNA Direta	59
Figura 5	RNA Simétrica	60
Figura 6	RNA Tipo Kohonen	64
Figura 7	Atividade de um modelo de RNA construído para o processamento de informações emocionais na Depressão.	94

Lista de Abreviaturas

fMRI	Functional Magnetic Resonance Imaging
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
IA	Inteligência Artificial
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INNS	International Neural Networks Society
MB	Megabytes
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PDP	Parallel Distributed Processing
RNA	Rede Neural Artificial
SNC	Sistema Nervoso Central
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal

Resumo

Este estudo é uma revisão narrativa da literatura sobre os paradigmas computacionais, as modelagens naturais conexionistas e a investigação dos fenômenos psicopatológicos. O objetivo geral foi realizar uma coleta de informações sobre os trabalhos publicados, até então, que contemplassem os modelos de processamento de informações no cérebro humano, a analogia com Redes Neurais Artificiais e a aplicação de métodos investigativos nas psicopatologias. A seleção dos estudos foi baseada principalmente pesquisas em bancos de dados digitais: *Medline*, *Períodos CAPES*, *MIT Search*, *Scholar Google* e *PsychInfo*, usando os descritores *neural networks*, *neurocomputation*, *psychopathology*, *connectionism*, *mood disorders*, *depression*, *cognition* e *artificial intelligence*, em mecanismos de busca digital. Foram selecionados os estudos considerando os critérios de inclusão a partir dos descritores, o aspecto cronológico, a adequação e pertinência dos estudos e o impacto destes artigos na comunidade científica. A literatura clássica também foi incluída. O estudo buscou estabelecer relações entre as pesquisas que utilizaram ferramentas computacionais, visando a criação de modelos que simularam o funcionamento cognitivo do cérebro humano. Destes modelos, as Redes Neurais Artificiais Conexionistas (RNA) mostraram-se as mais promissoras dentre as demais. Conclui-se que as investigações dos fenômenos psicopatológicos baseadas em modelagem computacional conexionista constituem em uma importante estratégia para compreensão do funcionamento da mente humana e de como se processam as alterações psíquicas.

Palavras-chave: neural networks, neurocomputation, psychopathology, connectionism, mood disorders, depression, cognition, artificial intelligence.

Abstract

This study is a revision narrative of literature on the computational paradigms, the neural networks based in connectionism process and the assessment of the psychopathological phenomena. The general objective was to carry through a collection of information on the works published, until then, that they contemplated the models of processing of information in the brain, the analogy with neural networks and the application of assessment methods in the psychopathology. The election of the studies was mainly based research in digital data bases: Medline, Periódicos CAPES, Scholar Google, MIT Search and PsychInfo, using the key-words neural networks, neurocomputation, psychopathology, connectionism, mood disorders, depression, cognition and artificial intelligence, in mechanisms of digital search. The criteria of inclusion from the describers were the chronological aspect, the adequacy and relevancy of the studies had been selected the studies considering and the impact of these articles in the scientific community. Classic literature also was enclosed. The study searched to establish relations between the researches that had used computational tools, aiming at the creation of models that had simulated the cognitive functioning of the human's brain. Of these models, Connectionist Neural Networks had revealed most promising among the others. One concludes that the inquiries of the based psychopathological phenomena in connectionist computational modeling constitute in an important strategy for understanding of the functioning of the mind and of as if they process the psychic alterations.

Key words: neural networks, neurocomputation, psychopatology, connectionism, mood disorders, depression, cognition, artificial intelligence.

Introdução

A Ciência Cognitiva e sua conseqüente investigação sempre motivaram a procura por novos paradigmas. Por ser um campo de estudos onde os fenômenos observados sempre são passíveis de modelagem, a proposta de incluir a cognição humana como representável por meios de simulação matemática é considerada útil. Assim como a cognição, os fenômenos psicopatológicos também são analisados por este mesmo método.

O crescente interesse em se utilizar mecanismos acessórios para entender as psicopatologias e a cognição decorre da relativa incapacidade da mente humana em compreender e validar os processos emocionais e comportamentais. Há uma padronização a ser buscada e sem o auxílio de ferramentas torna-se mais complexa e infrutífera esta tarefa. Para este fim, o surgimento de tecnologias digitais supre inicialmente esta necessidade e propõe um vasto número de possibilidades investigativas a certificar. As Redes Neurais Artificiais (RNA) são os instrumentos lógicos e matemáticos para que esta investigação e validação possam ser realizadas.

Entretanto, um dos primeiros questionamentos a serem levantados é sobre a capacidade de processamento da mente humana. Os limites cognitivos e o armazenamento de informações devem ser considerados quando se propõe uma análise deste processamento. Sendo estabelecidos os seus limites, podem-se antecipar quais as possibilidades e metas a serem alcançadas quando se

busca uma otimização destes. Surge o interesse, então, de se criarem métodos testáveis para que se atinja este objetivo.

Para tanto, o presente trabalho, inicia uma revisão narrativa sobre os paradigmas computacionais e uma síntese histórica sobre as origens da Neurocomputação. Em seguida revisa, em termos gerais, a literatura sobre os modelos computacionais que simulam o funcionamento da mente humana normal e patológica. Nessa intenção, permeia-se a capacidade e limites dos processos mentais. Verificando modelos computacionais e de RNAs, além de analisar suas aplicações, comentaremos sobre suas peculiaridades e fronteiras entre a analogia computacional e a mente humana. A partir deste conhecimento, podem-se aplicar tais métodos à investigação de fenômenos psicopatológicos e o processamento de informações emocionais usando a modelagem de sistemas naturais. E no escopo deste trabalho será vista tal possibilidade, utilizando como exemplo um modelo para o entendimento de um Transtorno Depressivo.

Justifica-se o interesse por esta área de estudos a escassez de estudos sobre Neurocomputação aplicados às psicopatologias. Ferramentas com capacidade de desempenhar algum nível de inteligência e criatividade serão úteis para o desenvolvimento de novas técnicas de investigação e tratamento dos transtornos psiquiátricos. Destarte, criar pontos de verificação (*check-points*) é de fundamental importância para a organização do conhecimento, sendo a proposta deste estudo de revisão. Além disso, a investigações de fenômenos,

em geral, ainda necessita de maior aporte de estudos e as buscas por padrões motivam novos paradigmas.

Em diversos países, em especial nos Estados Unidos da América, pesquisadores criaram centros de excelência para as investigações usando RNAs. Neuropsicólogos, economistas, matemáticos, astrônomos, físicos, dentre outros, utilizam as RNAs como modelo de representação das aplicações práticas de cada área de conhecimento. Embora tenha nascido para simular o funcionamento mental, tais modelos foram expandidos para diversas possibilidades. Em especial, na Ciência Cognitiva e na Psiquiatria, eles apresentam grandes possibilidades de desenvolvimento e resultados práticos relevantes às decisões médicas (Allen, 1998).

Objetivos

Geral

- Realizar uma revisão narrativa da literatura sobre os paradigmas computacionais, a Neurocomputação e a aplicação de modelos conexionistas para investigação de psicopatologias.

Específicos

- Entender os limites de processamento de informações no cérebro humano e suas implicações na cognição;
- Revisar os conceitos da Neurocomputação, das Redes Neurais Artificiais e suas aplicações;
- Analisar as possibilidades de aplicação das Redes Neurais Artificiais Conexionistas em fenômenos psicopatológicos e na cognição.

Metodologia

Inicialmente foram consultados os bancos de dados digitais baseados na Internet: *Medline*, *Periódicos CAPES*, *Scholar Google*, *MIT Search* e *PsychInfo*, com o objetivo de selecionar artigos, comentários ou capítulos de livros que preenchessem os critérios de pesquisa estabelecidos para esta revisão narrativa da literatura.

Na pesquisa foram utilizados os seguintes descritores principais: *neural networks*, *neurocomputation*, *psychopathology*, *connectionism*, *mood disorders*, *depression*, *cognition* e *artificial intelligence*. A busca utilizou mecanismos booleanos para seu refinamento. Foram apenas selecionados artigos, capítulos de livros e comentários na língua inglesa.

A partir da avaliação de cada artigo individualmente, foram selecionados os que apresentavam informações relevantes ao tema, como reportes históricos, conceitos e aplicações práticas. Os conceitos filosóficos também foram contemplados. Desta busca resultaram 207 resultados, sendo que 85 foram selecionados usando o critério de relevância no tema proposto.

Além dos materiais selecionados pelos mecanismos de busca, a literatura clássica foi pesquisada em bibliotecas especializadas na Universidade Federal da Bahia e Universidade Federal de Pernambuco.

Estudo de Revisão

1. PROCESSAMENTO COGNITIVO E PARADIGMAS COMPUTACIONAIS

1.1 - Processamento de Informações e Analogia Computacional

Uma vasta literatura apóia as possibilidades de comparação entre o processamento cognitivo natural, realizado pela mente humana, com os mecanismos intrínsecos dos modelos neurocomputacionais. Assim impõe-se a necessidade epistemológica em se determinar um modelo cognitivo artificial que simule ou represente as funções mentais e que reconheça seus limites e ambições. Modelagens empíricas, sejam estas aplicáveis ou não, surgiram para fomentar um paradigma determinante de um modelo equivalente para a Cognição Humana e sua homóloga cibernética.

Sendo um campo delimitado pela observação de fenômenos e experiências baseadas em casos, a Ciência Cognitiva permite analogias e prováveis simulações, típicas da lógica computacional. Assim, seria do modelo humano o pressuposto para caracterização teórica destes estudos, existindo a necessidade em se delinear e compreender o processamento cognitivo no homem.

Segundo a Psicologia Cognitiva, o processamento de informações exige uma perspectiva de análise ampliada, procedente de uma diversificada e

complexa rede de teorias, métodos e conceitos. Kail e Bisanz (1992) revisaram tais conceitos, organizaram e propuseram quatro subclassificações, do funcionamento cognitivo, a saber:

- a. Fenômenos cognitivos seriam descritos e explicados como processos e representações mentais, que intervêm entre estímulos e respostas passíveis de observação;*
- b. Os processamentos individuais são atuantes em um modo conjunto, respeitando uma organização hierarquizada;*
- c. Subjacente a toda atividade cognitiva, há um pequeno número de processos elementares;*
- d. O desenvolvimento cognitivo acontece por meio de auto-modificação ou de ajuste, sendo este mensurado por mudanças em estruturas internas, inatas. Entretanto, não se pode negar o decisivo impacto dos fatores externos, ambientais.*

A partir da organização básica dessas premissas, esta abordagem conceitual contempla a idéia de que um modelo científico abrangente do desempenho cognitivo, em certa tarefa mental, é incorporador de mecanismos subjacentes, ou seja, processos perceptivos para a codificação da informação, outros para a manipulação e armazenamento das informações, processos para selecionar e disponibilizar a informação armazenada e os de decisão dentre as formas alternativas de agir.

Pode-se também considerar a existência de especificações concernentes aos modos como a informação é organizada, seqüenciada e representada internamente no ambiente mental. Tais conceitos incentivam a pesquisa e o entendimento do processo de aprendizagem e desenvolvimento, mudanças na aquisição da informação que acontecem no decorrer do tempo e na identificação de características do ambiente. A interferência ambiental tanto contribui para capacitar, quanto para restringir tais mudanças, conforme salientado por Cleeremans (1997).

Outra importante contribuição foi dada por Chalmers (1999), que desenvolveu um estudo no Departamento de Filosofia da Universidade da Califórnia visando estabelecer as ambições da Inteligência Artificial e o papel da computação na Ciência Cognitiva. Realizando uma análise da viabilidade e o nexos entre sistemas computacionais, baseados em lógica abstrata e sistemas físicos concretos, Chalmers elabora sua observação a partir da idéia de que um sistema estabelece uma computação **se** a sua estrutura causal reflete a estrutura formal daquela computação. O autor utiliza-se da lógica formal e de uma abordagem de sistemas para demonstrar que a tese da suficiência computacional e a tese da explanação computacional são ambas perfeitamente justificáveis. Tais teses são justificáveis, continua Chalmers, “por serem conseqüência da observação de que a computação pode especificar padrões generalizados de organização e de que o fruto do processamento mental é uma invariável organizacional intrínseca a tais padrões”.

Contraopondo aos desafios ideológicos representados por teóricos como Searle, Harnard e Putman, que discordam da computação cognitiva, Chalmers apresenta de modo contundente suas considerações. Tais fundamentações teóricas podem ser respondidas a partir da consideração de que todo e qualquer sistema físico realiza algum tipo de computação representando “*finite-state automata*” com um único estado interno; que nem todas as instâncias e processos de um sistema realizam computação; que nem todos os sistemas podem realizar **todas** as computações e que qualquer sistema dado pode realizar mais que uma computação. Enumera, portanto, uma lógica representacionista, um paradigma, com a finalidade de explicar ou repetir processos cognitivos, mas por esta mesma lógica não se pode afirmar que o cérebro seria uma Máquina de Turing e o ambiente seria a fita. Pelo mesmo argumento, seria o cérebro uma máquina tal qual idealizada pelos princípios de Von Neuman. São conexionistas as teorias que elaboram um construto mais detalhado e seqüenciado do processamento cognitivo a nível real, analogicamente um “real state”.

Enfim, respeitando as teses da suficiência e da explanação computacionais, a detalhada descrição dos fenômenos da cognição pode revelar dinâmicas causais complexas ou até arquiteturas que variam de sujeito para sujeito. Cabe neste ponto destacar que o paradigma computacional não deve ser confundido com o pressuposto de que a cognição humana se reduz ao estrito cumprimento de regras de ação. Desse modo, modelos computacionais

incluem regras em processamentos simples, de baixa hierarquia, como p.ex. o funcionamento neuronal, no entanto sem possuir regras a nível cognitivo, que exige uma maior complexidade. A partir desta análise há uma suposição, na linha do presente trabalho, de que podemos entender o argumento que o cérebro pode se comportar como um computador, entendendo as computações e não o computador (a máquina) o ponto central dessas abordagens descritas.

1.2- O Cérebro Computacional

O cérebro, seja dos seres humanos e de alguns animais, tem como um dos seus principais atributos, a capacidade de gerar processos cognitivos complexos. O homem depende para sua sobrevivência da sua capacidade de perceber o mundo, abstrair e raciocinar, criar e elaborar, julgar, além de recursos mnêmicos, com o objetivo de capacitar e aperfeiçoar o uso da sua limitada capacidade corporal, em relação a diversos animais, e interagir de modo eficaz com o ambiente. Por uma perspectiva evolucionista, a principal vantagem da humanidade na seleção natural das espécies é a sua habilidade para produzir, gerenciar e aplicar o aprendizado a seu próprio benefício e de sua sociedade.

Essa capacidade cerebral desenvolvida seria derivada da qualidade e da arquitetura neuronal, que ofereceria melhores padrões para processamento de dados na espécie humana, fator decisivo para sua maior vantagem competitiva em relação ao conhecimento. Entretanto existem limitações quanto à expansão

dos processos cognitivos humanos, revelados por estudos que avaliaram a capacidade mensurável deste desempenho.

Partindo dessa suposição, algumas inferências foram propostas. Esta possibilidade pode ser constatada, bastando que se considere a discrepância entre um mundo indefinidamente complexo e um cérebro limitado a 1500 gramas de substância celular. Utilizando a análise combinatória, Ward (1997) identificou o cérebro como um órgão com aproximadamente 10^{10} a 10^{11} neurônios, formando uma rede com cerca de 10^{14} sinapses. Em comparação simples com o número de partículas do Universo (observável), que possui aproximadamente 10^{80} partículas e 10^{120} interações conhecidas, esta razão é ínfima. Esta diferença tem como razão $1:10^{106}$.

Um ensaio clássico, publicado por Miller (1956) reuniu um conjunto de estudos biofísicos que evidenciaram a existência de limites neurológicos quantificáveis na capacidade humana de processar informações. Dentre os achados, pode-se destacar a descoberta de limites máximos específicos para a identificação, diferenciação e/ou avaliação de tons sonoros, posição de pontos no espaço (em termos de bi-dimensionalidade) e concentrações de soluções salinas. Foram, também, constatados claros limites para a memória de seqüências aleatórias de diversos conteúdos não correlatos e para a capacidade de recodificar números binários em formatos decimais.

Como delimitador da capacidade de desempenho cognitivo, Merkle (1988) citou estudos deste desempenho e realizou uma revisão acerca da fisiologia mental e comparou esta hipótese com a teoria da informação de Claude Shannon, obtendo a conclusão de que a memória humana apresenta uma capacidade máxima de armazenamento de aproximadamente dois bits por segundo, equivalendo à aquisição de 7KB por hora, 133KB por dia (em caso de vigília, aproximadamente 16 horas) e 41MB por ano. Por esta lógica, um indivíduo que vivesse até os 80 anos, com todas as capacidades integradas e intactas, acumularia até 3,3 GB de informação durante sua existência. Apenas usando um exemplo para simples comparação, a capacidade média de um computador pessoal em 2005 para armazenamento de dados é, pelo menos, 20 vezes superior. Num outro estudo, Merkle (1989) utilizou diversas medidas do funcionamento da fisiologia cerebral para estimular a máxima capacidade de processamento entre 10^{13} e 10^{16} operações por segundo, com consumo médio de 10 Watts para tal objetivo.

White (2003) cita diversos estudos tratando da capacidade mnêmica e do processamento de informação do cérebro humano, concluindo que fisiologicamente já se alcançou um nível máximo de função da cognição na maioria das pessoas. O autor reforça que o uso de substâncias estimulantes como cafeína, nicotina e sacarose são utilizadas em estratégias para aumentar o desempenho cognitivo, produzem benefícios considerados apenas como

transitórios. Estas considerações são criticáveis, como trataremos adiante ao analisarmos os limites do processamento cognitivo e a inter-relação cibernética.

Há um argumento bem aceito quanto à incapacidade atual de uma máquina simular com plenitude o complexo processamento cognitivo. Um estudo de Kurtzweil (2002) apresenta este argumento baseado no ponto de vista do *hardware* computacional, delimitando que o cérebro apresenta limites fisiológicos bem definidos. Tais limites, porém, já foram superados plenamente pela tecnologia digital contemporânea. Acredita Kurtzweil que surgirá um mecanismo digital hábil para vencer o Teste de Turing, inclusive com capacidade de autoconsciência e emotividade.

Segundo Minsky (1967) a Máquina de Turing é um construto abstrato capaz de realizar computações, ou seja, de realizar uma seqüência de operações lógicas. Ela consiste de uma “cabeça” de leitura e escrita que “varre” uma fita unidimensional (ou bidimensional) dividida em quadrados, onde cada um dos quais está escrito com um “0” ou um “1”. A computação começa com a máquina num determinado “estado” varrendo um quadrado. Ela apaga o que encontra lá e imprime no lugar um “0” ou “1” e move-se para um quadrado adjacente e entra em novo “estado”. Este comportamento é completamente determinado por três parâmetros: (a) O “estado” em que a Máquina se encontra; (b) O número no quadrado que ela está “varrendo”; (c) Uma Tabela de Instruções.

A Tabela de Instruções especifica para cada “estado” e para cada entrada binária o que a máquina deve escrever, em qual direção ela deve se mover e em qual “estado” ela deve entrar. Exemplifica-se com o seguinte esquema: “Se está no Estado 1, varrendo um 0: Imprimir 1, mover-se à esquerda e ir para o Estado 3”. Ela pode listar apenas um número finito de “estados”, cada um dos quais se torna implicitamente definido pelo papel que desempenha na Tabela de Instruções. Tais “estados” são frequentemente denominados de “Estados Funcionais” da Máquina.

Esse citado mecanismo depende apenas do desenvolvimento de algoritmos específicos, capazes de obter aprendizado através de uma auto-organização baseada na experiência, algo que ele estima acontecer até o ano 2029. As Redes Neurais Artificiais seriam as principais executoras de um nível de organização ideal, capazes de simular esta realidade e empreender uma Inteligência Artificial bastante complexa e colaboradora aos processos mentais subjacentes e explícitos.

Mesmo existindo, as limitações cognitivas humanas possuem capacidade suficiente para que o indivíduo possa lidar com os desafios imediatos de sobrevivência e bem estar. Uma analogia audaciosa pode ser feita, partindo-se do pressuposto de que o Universo observável pode conter uma imensa quantidade de interações possíveis entre seus componentes (Lloyd, 2002), muito superior à capacidade quantitativa que o cérebro poderia empiricamente

suportar (Ward, 1997). Contudo, o ambiente imediato do homem (o nosso planeta e suas imediações conhecidas) apenas significa uma fração desse conjunto, por representar uma unidade possivelmente mínima e simples o bastante para que o Sistema Nervoso Central pudesse comportá-la.

De acordo com essas observações, a Teoria da Informação (Shannon, 1949) analisa a possibilidade de que alguma forma de compreensão de dados venha, por meios lógicos, produzir um aumento na capacidade de processamento, sem que sejam necessárias modificações eletrofisiológicas. O uso de suposições contraditórias, mesmo com a combinação lógica destes dois fatores, pode não oferecer um argumento convincente para a suficiência do cérebro humano isoladamente.

O jogo de xadrez compreende 32 peças de seis diferentes tipos, estas podendo se mover num tabuleiro com 64 casas, mediante regras restritivas bem estabelecidas. Ainda assim, uma partida com 40 lances (uma quantidade bastante típica) oferece cerca de 10^{120} possibilidades distintas (Guterl, 1996) ultrapassando, em muito, os limites de armazenamento de um cérebro humano (Lloyd, 2002). Este exemplo serve para ilustrar a observação de que até uma pequena porção, extremamente limitada em complexidade, pode rapidamente esgotar a capacidade do cérebro humano.

No entanto, o mesmo argumento não pode ser extrapolado para se defender uma capacidade cerebral proporcionalmente maior do que a do jogo (10^{11} neurônios *versus* 32 peças num tabuleiro 8x8). Deve-se considerar que o sistema tabuleiro-peças, por não dispor de memória, não constitui um mecanismo computacional completo. As seqüências de lances podem ser executadas, mas não são armazenadas e não são passíveis de aprendizado por ação ou repetição, por não disporem de memória das ações.

A Teoria da Informação, se observada isoladamente, oferece respostas a duas questões essenciais: quanta informação se pode comprimir num dado meio e quanta informação é possível ser transmitida num canal que está sujeito a interferências (Shannon,1949). Esta Teoria estabelece limites matemáticos para a capacidade de compressão e transmissão de dados de qualquer tipo de dispositivo, inclusive o cérebro humano. Nesta mesma linha de investigação, destacam-se os trabalhos de Merkle (1988,1989), que analisam a capacidade cerebral humana e foram desenvolvidos considerando os princípios e teoremas desta Teoria, criada por Shannon 40 anos antes.

A partir da análise dos argumentos e fatos acima descritos, surge um importante paradoxo a ser considerado. Supõe-se a existência de um cérebro humano limitado fisicamente, cuja capacidade é passível de ser esgotada. De outro lado, existem argumentos da existência de um nível de desempenho

cognitivo que parece superar tais limites e, portanto, não pode ser justificado apenas por processos fisiológicos.

Seguindo o paradigma da complexidade, Pinker (1998) demonstra que até as tarefas mais simples, como identificação de objetos e a detecção de relações espaciais podem exigir um poderoso sistema integrado de módulos de processamento especialistas. Ele refere que na medida em que se tornam atividades cada vez mais complexas, o grau de sofisticação apresentado requer um incremento exponencial desses módulos especialistas.

Considerando que a sobrevivência e o bem-estar humanos requerem muito além do que apenas as capacidades básicas de percepção e psicomotricidade, fica evidente que os seres humanos necessitam de uma imensa capacidade de apreensão, manipulação e utilização de conhecimento para obterem êxito enquanto espécie. Com esta afirmação, cabe questionar se o cérebro humano ofereceria, sozinho e sem qualquer ajuda, sustentação a essa tarefa.

Realizando uma comparação entre a média de 800MB de informações produzidas por ano por cada indivíduo, apontada por Lyman e Hal (2003) com a capacidade anual de armazenamento fisiológico dos seres humanos de apenas 41MB anuais (Merkle,1988), obtém-se uma proporção de aproximadamente 20:1

entre o montante de dados acumulados e a capacidade fisiológica de armazenamento do cérebro humano.

Ao citar diversos autores e reconhecer a existência de limites específicos para a capacidade do cérebro em decifrar, com precisão, dados e informações clínicas em tempo hábil e sem erros significativos, Hannan (2003) forneceu importantes argumentos para justificar o auxílio computacional nesta atividade. O autor utiliza tais considerações como meio de justificar a necessidade e utilidade do uso de ferramentas de processamento de informações para suporte a decisões clínicas em sistemas hospitalares. Estes mecanismos nada mais são do que receptáculos de informações codificadas pelo esforço cognitivo individual, respeitando algoritmos e bancos de dados, geralmente simples, para construir um raciocínio baseado em informações.

Neste momento cabe comentar que a máquina e seus produtos também servem para suprir uma demanda atual, inclusive protetora de direitos e sigilos, que às vezes são insuficientes nos meios tradicionais de coleta de dados. No nosso meio, já aceito pelo Conselho Federal de Medicina pelas Resoluções 1.638/2002 e 1.639/2002, o Prontuário Eletrônico serve como bom exemplo de como a tecnologia encontra espaço para aprimorar e organizar a coleta de informações.

Transformada em dados depurados, estas informações auxiliam decisivamente o fazer médico, contemplando análises estatísticas e arranjos informatizados indispensáveis nos serviços médicos e nos consultórios. Não obstante, podemos compreender que esta ferramenta pode ser considerada uma evolução no que diz respeito aproximar os meios digitais de uma brevíssima simulação de um mecanismo de tomada de decisões, em uma escala mínima. Entretanto, o Prontuário Eletrônico não serve como exemplo de sistema inteligente, de uma Inteligência Artificial. Não podemos, a despeito, subestimar sua função como facilitadora de uma nova postura frente aos desafios cognitivos que serão propostas no futuro, na possibilidade de um cérebro computacional.

Tentando estabelecer os limites cognitivos, Vernon *et al* (2000) descreve de modo bastante interessante as diversas tentativas de correlacionar medidas neurofisiológicas de um indivíduo com o seu desempenho intelectual, destacando que:

- Em um conjunto de 54 estudos realizados entre 1906 e 1999, somando 56.793 sujeitos sem patologia cerebral, o coeficiente de Pearson médio entre as variáveis encefalométricas (perímetro, diâmetro e volume de crânio) e os resultados em diversos tipos de teste de habilidade mental foi de 0.18 (ou de 0,19 se ajustado

para o tamanho das amostras), variando individualmente de 0,02 a 0,54;

- Em um grupo de 11 trabalhos realizados entre 1987 e 1999, somando 432 sujeitos sem patologia cerebral, tentando associar o volume cerebral a diversas medidas de habilidade mental, a correlação de Pearson média encontrada foi de 0,40 (ou de 0,38 se ajustado para o tamanho da amostra), variando individualmente de 0,07 a 0,44;
- Em um total de 12 estudos realizados entre 1989 a 1997, somando 922 sujeitos sem patologia cerebral, acerca das relações entre variáveis medidas de velocidade de condução neural e de habilidade cognitiva, a correlação de Pearson média encontrada foi de 0,18 (ou de 0,15 se ajustada para o tamanho da amostra), variando individualmente de -0,61 a 0,62.

Cabe acrescentar que uma das alternativas mais comuns aplicadas em estatística para se determinar a associação entre duas variáveis é o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson. Muitas vezes esse coeficiente é inclusive aplicado e interpretado com pouco rigor científico/estatístico. Usualmente, o termo genérico “coeficiente de correlação” refere-se ao “coeficiente linear de correlação de Pearson”, obtido entre duas variáveis x e y . O coeficiente de correlação de Pearson pode ser visto como a razão entre a covariância de duas variáveis pelo produto dos desvios-padrão de cada uma delas.

É necessário destacar que os resultados médios obtidos estão associados a estudos com grande variabilidade de resultados, encontrando achados com correlações positivas, neutras e negativas, dependendo do trabalho individual considerado. Além disso, mesmo que se desconsiderem as contradições entre alguns estudos, supondo uma total independência entre as medidas neurofisiológicas (correlação zero entre elas) e tomando-se os valores médios não ajustados para o tamanho das amostras, uma regressão múltipla em relação os três tipos de medida considerados acima e um indicador de habilidade cognitiva que aglutinasse os diversos testes usados nas publicações em questão apresentaria um r múltiplo de 0.76, ou seja, capaz de explicar apenas 58% da variância do indicador cognitivo.

Isso significa que, mesmo que fossem desprezados os três fatores mencionados (o que, de fato, não pode ser feito) e que se considerasse o conjunto dos indicadores de habilidade mental como abrangendo a totalidade dos fenômenos cognitivos (claramente, não é este o caso) ainda restaria 42% da variância e capacidade intelectual a ser explicada.

Num contexto mais realista, é seguro afirmar que, considerando os achados dos 77 trabalhos apontados acima, o conjunto das variáveis neurofisiológicas consideradas claramente explica menos de 50% da variância do desempenho cognitivo. Em outras palavras, mais da metade precisa de outra

5explicação que não as variações biológicas entre os indivíduos (de Souza, 2005).

Novamente podemos considerar a idéia de que o cérebro humano é incapaz de suprir isoladamente as necessidades de processamento associadas à sobrevivência e ao bem-estar das pessoas. Acrescente-se o fato de que a humanidade foi bem sucedida em termos de sobrevivência, mas também de sua multiplicação intensa nos últimos milhares de anos. Chega-se à conclusão de que alguma forma de ampliação da capacidade cognitiva foi desenvolvida, aprimorada e consagrada. Esta expansão se deu através de processamentos extracerebrais, notadamente nas últimas décadas e não há como negar o papel da informatização neste processo.

1.3 – Limitação Evolutiva do Cérebro e Recursos Acessórios

A partir da verificação de limites biológicos determinando a competência do cérebro humano e a possibilidade de que essa estrutura seja, isoladamente, incapaz em dotar a potência computacional necessária para suas demandas de sobrevivência, é plausível cogitar que a evolução do *homo sapiens sapiens* avança rumo ao aumento desta capacidade por meio de uma manifestação gradual de um Sistema Nervoso Central mais “plástico”. Contudo, existem

estudos baseados em dados biofísicos e algébricos que discordam desta provável evolução.

Cientistas britânicos da British Telecom, citados por Ward (1997), ressaltam a inexistência de um claro trajeto evolucionário que possa conduzir a um aumento na capacidade de processamento cerebral. Uma das evidências destacadas foi que possíveis aumentos no diâmetro dos axônios ou aumento da densidade neuronal, fatores decisivos para elevar a velocidade de transmissão de impulsos, seriam inversamente úteis no saldo final. Esta observação se deu a partir da análise de que haveria maior necessidade de isolamento térmico (bainha de mielina) e de uma maior cavidade craniana, resultando numa redução da eficiência das sinapses.

Por conclusão, tais processos evolucionários empiricamente não disponibilizam uma adequada e satisfatória resposta ao dilema proposto, da incapacidade computacional do cérebro humano. Argumenta-se o uso de processos e mecanismos extracerebrais como alternativa. Mecanismo semelhante se dá com processadores eletrônicos, que com maior necessidade de tarefas, tiveram reduzidos os seus tamanhos, mas sofrem risco de superaquecimento.

Na mesma linha de pensamento, Lock (2000) destaca que a evolução animal é fundamentalmente autoplástica, baseada em adaptações dependentes

da sua expressão genética, ao passo que a evolução humana é aloplástica, associada à manipulação de objetos fisicamente desconectados dos seus limites corporais (por meio de instrumentos, ferramentas).

Citando Vigotsky, Ward(1997) relembra o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), sendo este conceito utilizado para justificar a existência de um meio através do qual objetos, instrumentos e práticas sociais colaboram para o desenvolvimento cognitivo. O conceito de ZDP permite o entendimento do processo de transmissão cultural de conhecimentos e de padrões de pensamentos lógicos de um “emissor” para um “receptor”, através de interações onde o primeiro estrutura o ambiente para salientar uma lógica predeterminada para o segundo. É possível estender essa noção para se compreender o modo como se desenvolve novos conhecimentos e lógicas, a partir de aquisições e experiências passadas, com diversos elementos do ambiente, como demonstram estudos com seres humanos e primatas (Souza, 2005).

Nesta discussão, a premissa é que o ambiente e o organismo atuam sinergicamente e se determinam, sendo esta idéia um ponto de partida indispensável para se compreender a adaptação que acontece ao curso dos processos evolutivos. Com esta hipótese pode-se obter um meio de fundamentar e delimitar as mudanças que ocorrem em função da relação entre uma determinada estrutura de vida e seu ambiente, ou de, pelo menos, acatar

esta posição evolutiva. Podemos sugerir uma questão: até que ponto o ambiente estimula ou influencia a genética? Ainda não pode ser obtida uma conclusão, mas há inferências que poderemos investigar, sejam biológicas ou adaptativas, baseadas nas implicações deste processo ao longo do tempo.

Tentando compreender as implicações desta co-determinação, consideramos uma relação de implicação, ao contrário de uma relação de simples causalidade. A diferença entre ambas é determinada pelo fato de que a primeira se refere aos eventos logicamente dependentes e a segunda se refere aos eventos logicamente independentes, sendo que esta última necessita da apuração empírica dos eventos envolvidos, ou relacionados, para ser observada. Lock (2000) distingue os dois possíveis tipos básicos de eventos segundo o tempo:

- Implicações Diacrônicas : Também conhecidas como meta-aplicações, são aquelas onde os eventos ocorrem **ao longo do tempo**;
- Implicações Sincrônicas : Também mencionadas como aplicações sinérgicas, são aquelas onde os eventos ocorrem **ao mesmo tempo**.

A sugestão de Lock é que se pode também aplicar tais relações para os processos mentais, ao invés de se referir apenas às mudanças físicas no tempo. Dizem respeito estas implicações a investigação dos sistemas meramente

simbólicos, disponíveis para elucidar as formas pelas quais eles podem conter outros símbolos. Tal simbolismo resultará em uma inspiração para uma analogia computacional, já encontrada desde a década de 50, e para a Inteligência Artificial representando esses modelos, a partir da lógica conexionista.

2. NEUROCOMPUTAÇÃO

2.1 – Síntese Histórica

As primeiras informações mencionadas na literatura especializada sobre a neurocomputação e seu processamento datam de 1943, em artigos pioneiros de McCulloch e Pitts, onde sugeriram a construção de uma máquina baseada ou inspirada no cérebro humano. Estas descobertas deram origem, a partir de então, a uma produção relevante de artigos e livros sobre o assunto. Entretanto, a despeito desta profícua produção, por um longo período de tempo, pouco resultado prático foi obtido.

Segundo pesquisadores destes primeiros trabalhos publicados, após árduo processo para determinar a qualidade de tais descobertas e hipóteses, descobriu-se a primeira obra com elementos práticos até esta época (Arbib, 1995) que foi redigida em 1949 por Donald Hebb, na sua obra intitulada "The Organization of Behavior" (A Organização do Comportamento), que contemplava a idéia de que o condicionamento psicológico clássico está presente em qualquer animal pelo fato desta ser uma propriedade indissociável de neurônios individuais.

Tais proposições não eram propriamente novas, mas Hebb foi o primeiro a alçar uma lei de aprendizagem específica para as sinapses dos neurônios. A

partir desta observação foi ensaiada uma motivação inicial para que outros pesquisadores iniciassem um movimento científico e com conseqüente produção acadêmica mais pragmática.

Após um início emblemático, pouco se podia aplicar destas hipóteses, embora muito tenha sido estudado e publicado nos anos que seguiram (1940-50). Entretanto, tais hipóteses apenas subsidiaram informações e conceitos para o futuro desenvolvimento do que para sua própria aplicação à época (Wolfram, 2000).

Baseado nestes estudos e pesquisas da década de 1940 foi construído o primeiro neurocomputador, denominado **Snark**, por Mavin Minsky, em 1951. O *Snark* operava com relativo sucesso funcional a partir de um ponto de partida técnico rudimentar, ajustando seus pesos automaticamente. No entanto, ele nunca executou qualquer função de processamento de informação interessante, mas serviu de inspiração e motivação para as idéias de estruturas computacionais que o sucederam, um importante divisor de fronteiras entre o que poderia ou não ser feito naquela época (Freeman & Skapura, 1992).

Em 1956, no Dartmouth College-EUA, foram elaborados os dois paradigmas da Inteligência Artificial (IA), a **Simbólica** e a **Conexionista**. A **IA Simbólica** busca simular o comportamento inteligente humano, desconsiderando os mecanismos para tal e se baseando em aprendizagem indutiva e de conceitos. Já a **IA Conexionista** acredita que se construindo um sistema que simule a estrutura do cérebro, este sistema apresentará

inteligência, ou seja, respeitando mecanismos que possibilitam aprender, assimilar, errar e aprender com seus erros (Arbib, 1987).

O primeiro Neurocomputador com boa resolução de funções e processamentos primários adequados foi batizado como *Mark I Perceptron*, construído em 1957, criado pelos engenheiros Frank Rosenblatt, Charles Wightman e seus assistentes. Devido à seriedade dos seus estudos e o inequívoco êxito em suas tentativas, suas contribuições técnicas e sua importância no desenvolvimento dos sistemas baseados em IA, a comunidade científica convencionou homenagear Rosenblatt como o fundador da Neurocomputação. Seu interesse inicial para a criação do *Perceptron* era o reconhecimento de padrões.

Após Rosenblatt, em 1962, Bernard Widrow e um grupo de estudantes desenvolveram um novo tipo de elemento de processamento de RNAs chamado *Adaline*, equipado com uma poderosa lei de aprendizado, que a despeito da qualidade do *Perceptron*, ainda permanece em uso até os dias atuais. Widrow também fundou a primeira companhia de *hardware* de neurocomputadores e componentes.

Apresentada esta nova linha de estudos à comunidade científica, o que foi observado nos anos seguintes foi um entusiasmo superlativo em muitos pesquisadores, que passaram a publicar surpreendente número de artigos e livros, que faziam previsões excessivamente otimistas em relação ao

desenvolvimento dos computadores. Descreviam máquinas tão poderosas quanto o cérebro humano e que surgiriam em um curto intervalo de tempo.

Estas observações precipitadas abalaram quase toda a credibilidade dos estudos nesta área e causou grandes aborrecimentos aos técnicos de outras especialidades (Wolfram, 2000), além de pretender associar o ganho financeiro imediato a partir da aplicação dos achados, causando certo desconforto na comunidade científica.

Um período de pesquisa silenciosa foi observado entre 1967 e 1982, quando poucas pesquisas foram desenvolvidas e publicadas. O desinteresse de agências fomentadoras e Universidades foi o determinante para este hiato. Não havia certeza da qualidade e seriedade dos resultados. Entretanto, aqueles que pesquisavam naquela época, e todos os que se seguiram no decorrer de treze anos, conseguiram restabelecer um campo concreto para o renascimento da área, acrescido do aporte tecnológico que a informática ofereceu desde então.

No início da década de 1980, retomou-se o investimento na Neurocomputação, assim como a validade destes estudos ficou mais rigorosa. Novas e variadas propostas para a exploração e desenvolvimento de Redes Neurais, bem como suas aplicações, foram publicadas. Destaca-se nesse período, como relevante colaboração no desenvolvimento de novos estudos, a participação de Ira Skurnick, um administrador de programas da Defense

Advanced Research Projects Agency -DARPA, nos Estados Unidos da América. Decidido a compreender e se aprofundar nos conceitos e na possibilidade de criação de modelos de IA, Skurnick e seus projetistas, divergindo dos caminhos tradicionais dos conhecimentos até então, fundaram em 1983 um centro de pesquisas em Neurocomputação. Este ato não só consolidou a Neurocomputação, como também ofertou à DARPA o status de uma das líderes mundiais em se tratando de "moda" tecnológica (Hecht-Neilsen,1990).

Destacou-se também neste período o Prof. John Hopfield, físico de reconhecimento acadêmico mundial, que interessado pela Neurocomputação, publicou diversos artigos que alcançaram grande repercussão, convencendo a comunidade científica, principalmente matemáticos e tecnólogos qualificados, a se unirem nesta área emergente. Este interesse também auxiliou a captação de recursos financeiros para as pesquisas. Um dos seus artigos de maior repercussão foi publicado em 1982, analisando as habilidades possíveis de um sistema artificial e sua interface com mecanismos e ditames da física tradicional (Hopfield, 1982).

Apesar de um terço dos pesquisadores da área terem aderido às pesquisas em Neurocomputação, pela influência de Hopfield, foi em 1986 que este campo de pesquisa iniciou sua nova aplicabilidade, com a publicação do livro "Parallel Distributed Processing" (Processamento Distribuído em Paralelo) editado por David Rumelhart e James McClelland. Em 1987, aconteceu em São

Francisco-EUA, a primeira conferência sobre Redes Neurais, a International Conference on Neural Networks e também foi criada a International Neural Networks Society - INNS. A partir destes eventos, sucederam a fundação do INNS Journal em 1989, seguido do Neural Computation e do IEEE Transactions on Neural Networks em 1990, principais publicações sobre Redes Neurais até hoje.

2.2 - O Neurônio e as Redes Neurais Artificiais.

O neurônio artificial é uma estrutura lógico-matemática que procura simular a forma, o comportamento e as funções de um neurônio biológico. Assim sendo, os dendritos foram substituídos por *entradas*, cujas ligações com o corpo celular artificial são realizadas através de elementos chamados de *pesos* (simulando as sinapses). Os estímulos captados pelas entradas são processados pela *função de soma*, e o limiar de disparo do neurônio biológico foi substituído pela *função de transferência*. (Figura 01).

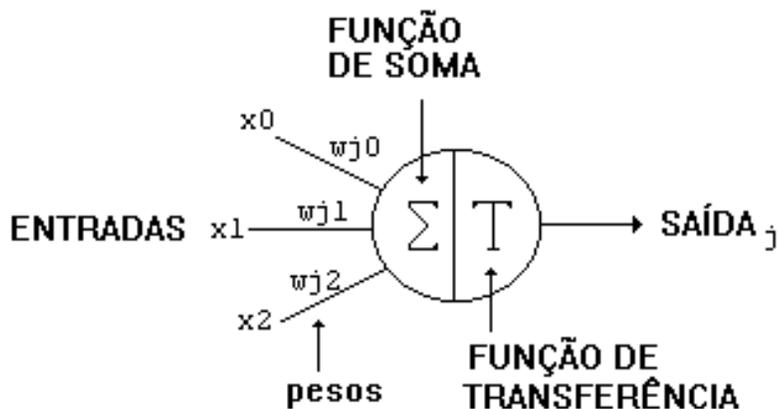


Figura 01 : Representação de Neurônio Artificial

A primeira concepção de RNAs foi formulada na década de 1940, pelo neurofisiologista Warren McCulloch, do Massachusetts Institut of Technology – MIT, e pelo matemático Walter Pitts, da Universidade de Illinois, os quais, dentro de uma incipiente lógica cibernética, fizeram uma analogia entre células nervosas vivas e o processamento eletrônico num trabalho publicado sobre "neurônios formais" (Arbib,1995). O trabalho consistia num modelo de resistores variáveis e amplificadores representando conexões sinápticas de um neurônio biológico.

Desde então, mais enfaticamente a partir da década de 1980, diversos modelos de RNAs têm surgido com o propósito de aperfeiçoar e aplicar esta tecnologia. Algumas destas propostas tendem a aperfeiçoar mecanismos internos da Rede Neural para aplicação na indústria e negócios e outras procuram aproximá-las ainda mais dos modelos biológicos originais. Aplicada às funções do SNC, sua relevância se expressa na Ciência Cognitiva e Psicopatologia geral (Cohen e Servan-Schreiber, 1992) e posterior surgimento de modelos conexionistas que representam e simulam o processamento mental e suas variantes patológicas (Aakerlund & Hemmingsen, 1998).

Após o ressurgimento dos estudos da Neurocomputação, intensifica-se a pesquisa na área das RNAs, estudos estes também conhecidos como Redes Conexionistas ou Sistemas de Processamento Paralelo e Distribuído (PDP). Esta forma de computação não é algorítmica, mas caracterizada por sistemas que, em algum nível, relembram as funções do cérebro humano. Por não ser

baseada em regras ou programas, a computação neural se constitui em uma alternativa à computação algorítmica convencional.

As RNAs são sistemas paralelos distribuídos, compostos por unidades de processamento simples (nodos) que computam determinadas funções matemáticas, normalmente não lineares. Estas unidades são dispostas em uma ou mais camadas e interligadas por um grande número de conexões, geralmente unidirecionais. Na maioria dos modelos tradicionais, estas conexões estão associadas a pesos, os quais armazenam o conhecimento representado no modelo e servem para ponderar a entrada recebida por cada neurônio da rede. O funcionamento destas redes é inspirado em uma estrutura física baseada na do cérebro humano.

A solução de problemas através das RNAs é bastante atrativa e intercambiável, pois o paralelismo constitui-se a característica principal das RNAs, onde esta elabora a possibilidade de um desempenho superior em relação à solução de problemas baseados nos modelos convencionais. Em RNAs, o procedimento usual na solução de problemas passa inicialmente por uma fase de aprendizagem, onde um conjunto de exemplos é apresentado para Rede, que extrai automaticamente as características necessárias para representar a informação fornecida. Essas características são utilizadas posteriormente para gerar respostas para o problema.

A capacidade de aprender através de exemplos e de generalizar a informação aprendida são, sem dúvida, os atrativos principais da solução de problemas através das RNAs. A generalização, que está associada à capacidade da Rede aprender através de um conjunto reduzido de exemplos e posteriormente dar respostas coerentes para dados não conhecidos, é uma demonstração de que a capacidade das RNAs vai muito além de que simplesmente mapear relações de entrada e saída.

As RNAs são capazes de extrair informações não apresentadas de forma explícita, através de exemplos. Outras características importantes são a capacidade de auto-organização e processamento temporal que, aliadas a aquela citada anteriormente, fazem das RNAs uma ferramenta computacional extremamente poderosa e atrativa para a solução de problemas complexos.

Depois de constatada tal possibilidade, combinando diversos neurônios artificiais, podemos formar o que chamamos de RNAs. As entradas, simulando uma área de captação de estímulos, podem ser conectadas a muitos neurônios, resultando, assim, em uma série de saídas, onde cada neurônio representa uma saída. Essas conexões, em comparação com o sistema biológico, representam o contato dos dendritos com outros neurônios, formando assim as sinapses. A função da conexão em si é tornar o sinal de saída de um neurônio em um sinal de entrada de outro, ou ainda, orientar o sinal de saída para o mundo externo (mundo real). As diferentes possibilidades de conexões entre as camadas de neurônios podem gerar n números de estruturas diferentes.

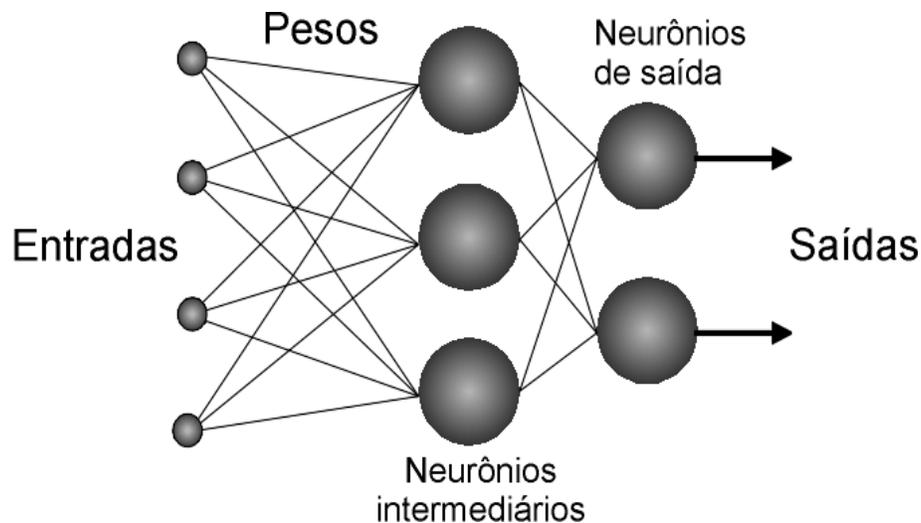


Figura 02: Exemplo de uma RNA de duas camadas com quatro entradas e duas saídas

São muitas as variantes de uma RNA. Combinando-as, poder-se-ia mudar a arquitetura conforme a necessidade da aplicação, ou ainda, conforme o desejo do projetista. Basicamente, os itens que compõem uma RNA e, portanto, sujeito as modificações, são os seguintes: (a) conexões entre camadas; (b) camadas intermediárias; (c) quantidade de neurônios; (d) função de transferência; (e) algoritmo de aprendizado.

Considera-se que um dos objetivos básicos da pesquisa sobre Rnas na computação é o desenvolvimento de morfologias neurais matemáticas, não necessariamente baseadas na biologia, que podem executar funções diversas. Entretanto, na maioria dos casos, os modelos neurais são compostos de elementos não lineares que operam em paralelo e que são classificados de acordo com padrões ligados à biologia (Kovács, 1997).

Quando um processo é elaborado objetivando utilizar aspectos de RNAs, usualmente estes se iniciam a partir do desenvolvimento de um neurônio artificial (ou computacional) baseado no entendimento de estruturas neuronais verdadeiras. Partindo desta observação, seguem práticas para o aprendizado de mecanismos voltados para um determinado conjunto de aplicações. Resumidamente, obedecem a regras específicas, seguindo as três seguintes etapas: (a) o desenvolvimento de modelos neurais motivado por neurônios biológicos; (b) modelos de estruturas e conexões sinápticas e (c) o aprendizado das regras (um método de ajuste de pesos ou forças de conexões internodais).

Devido a diferenças entre algumas ou, às vezes, todas as entidades envolvidas neste processo, diferentes estruturas de RNAs têm sido desenvolvidas por pesquisadores. Observando sua estrutura, as arquiteturas das RNAs podem ser classificadas como estática, dinâmica ou *fuzzy*, assim como de única camada ou múltiplas camadas. Igualmente, diferenças computacionais surgem em relação ao modo como são feitas as conexões existentes entre os neurônios. Estas conexões podem ser estritamente no sentido de ida ou no sentido de ida e volta, inclusive quanto à posição espacial, se dispostas lateralmente, topologicamente ordenadas ou híbridas.

Segundo Rummelhart (1986b), a RNA deve possuir, pelo menos, duas camadas: a de entrada de dados e a da saída dos resultados. Como a RNA apresenta desempenho muito limitado utilizando apenas duas camadas, a adição de uma camada intermediária faz-se necessária. Neste tipo de

configuração, cada neurônio está ligado com todos os outros das camadas vizinhas, mas neurônios da mesma camada não se comunicam entre si. Alia-se ao fato de que a comunicação é unidirecional, representando assim um comportamento meramente estático.

Diferindo-se da proposição de Rumelhart, a Rede Neural de Hopfield (Figura 03) apresenta comportamento dinâmico e fluxo de dados multidirecionais, devido à integração total dos neurônios, desaparecendo assim a proposição das camadas bem distintas. Baseado neste esquema proposto, seu funcionamento se apresenta mais complexo. Surgem, no entanto, algumas complicações, sejam estas na fase de aprendizado da Rede quanto na fase de testes. Um exemplo prático de seu uso é o direcionamento para resolução de problemas quanto à minimização e otimização, como no de percurso de caminhões em autovias computadorizadas.

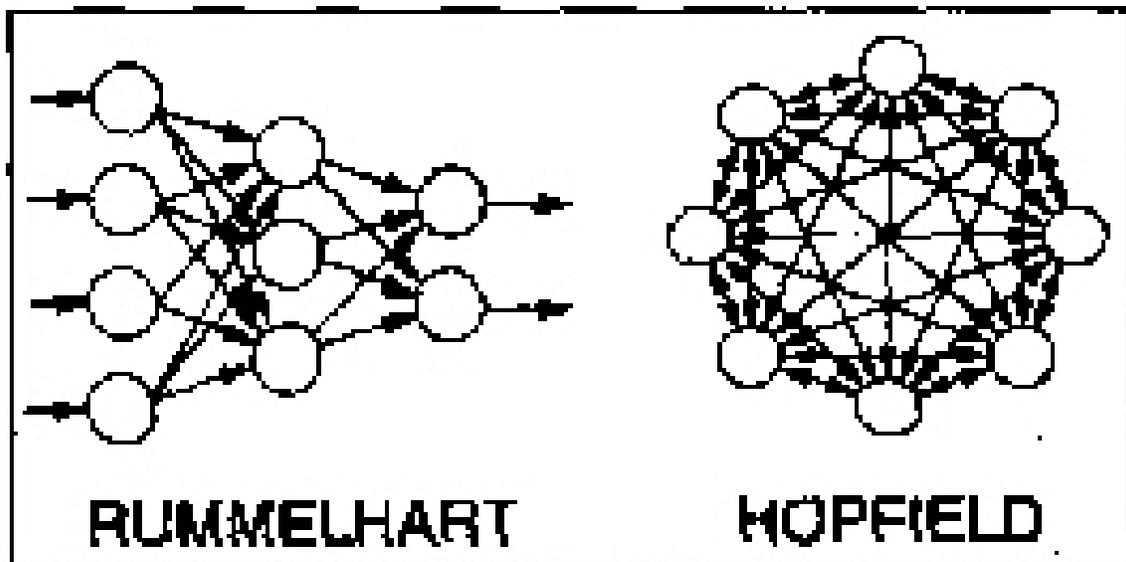


Figura 03 - Modelos de RNAs: Rumelhart e Hopfield

Pesquisadores, como Hecht-Neilsen (1990), afirmam que com apenas uma camada oculta já se pode calcular uma função arbitrária qualquer, a partir de dados fornecidos. Seguindo esta lógica, a camada oculta deve ter por volta de $2i+1$ neurônios, onde i é o número de variáveis de entrada. Contrapondo este modelo, como a crítica de Cybenko(1990), há um grupo de pesquisadores que defendem o uso de duas camadas ocultas.

Tomamos como exemplo o estudo de Kudrick (1991), que empiricamente observou que para cada três neurônios da primeira camada oculta era preciso um da segunda camada. Opondo-se a esta topologia, Lippmann (1993) afirma que a segunda camada oculta deve ter o dobro de neurônios da camada de saída. No caso de apenas uma camada oculta, ela deverá ter $s(i+1)$ neurônios, onde s é o número de neurônios de saída e i o número de neurônios na entrada.

Em Redes menores, o número de neurônios da camada oculta pode ser considerado como a média geométrica entre o número de neurônios de entrada pelo número de neurônios de saída. Independente de cada abordagem, quanto mais camadas de neurônios, melhor e mais eficiente será o desempenho da RNA, pois aumentará a capacidade de aprendizado, melhorando a precisão com que ela delimitará regiões de decisão. Estas regiões de decisão são intervalos fixos onde a resposta pode estar. A camada de entrada possui um neurônio especial chamado de *bias* e serve para aumentar os graus de liberdade,

permitindo uma melhor adaptação, por parte da rede neural, ao conhecimento a ela fornecido.

As RNAs Diretas são aquelas cujos grafos não possuem ciclos e podem ser representadas por camadas. Por exemplo, os neurônios que recebem sinais de excitação do meio externo estão na camada de entrada; os neurônios que estão na saída são chamados de camada de saída (Figura 04).

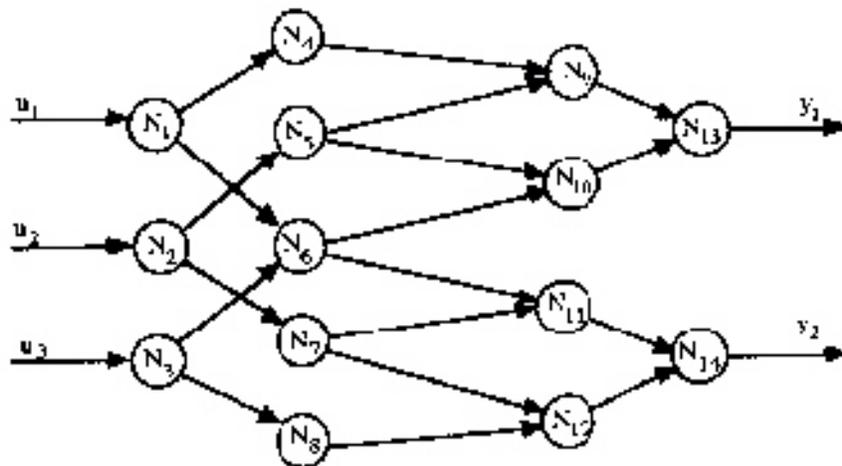


Figura 04 - RNA Direta

As RNAs com ciclos são Redes em que o grafo de conectividade contém pelo menos um ciclo. São também chamadas redes com realimentação ou com feedback. As simétricas são as Redes cuja matriz (do grafo de conectividade) é simétrica, sendo um caso particular das redes com ciclos (Figura 05).

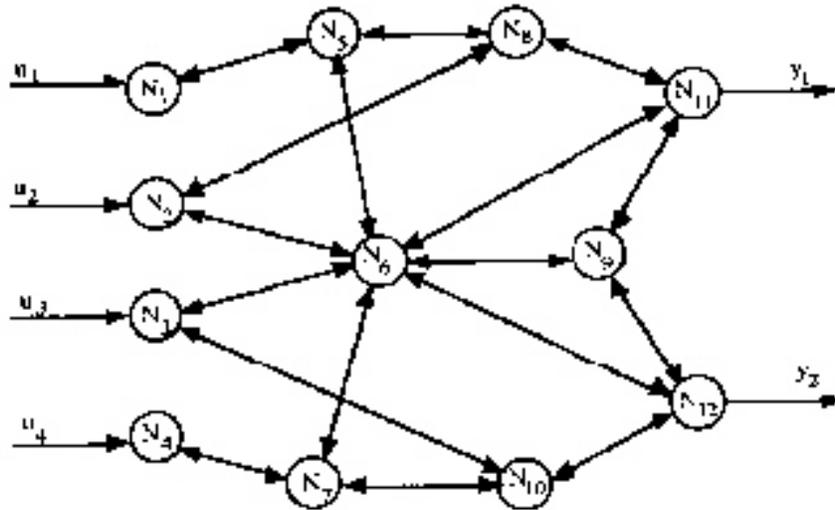


Figura 05-RNA Simétrica

2.3 - Aprendizado e Auto-Organização de uma Rede Neural Artificial

A propriedade mais importante das RNAs é a habilidade em aprender de seu ambiente e, com isso, melhorar seu desempenho. Adapta-se através de um processo interativo de ajustes aplicado aos seus pesos, denominado treinamento. O aprendizado ocorre quando a RNA atinge uma solução generalizada para uma classe de problemas.

Denomina-se algoritmo de aprendizado a um conjunto de regras bem definidas para a solução de um problema. Existem muitos tipos de algoritmos de

aprendizado específicos para determinados modelos de RNAs, entretanto estes algoritmos diferem entre si, principalmente pelo modo como os pesos são modificados.

A RNA se baseia nos dados para extrair um modelo geral. Portanto, a fase de aprendizado deve ser extremamente rigorosa e verdadeira, visando evitar modelos espúrios. Sabe-se que todo o conhecimento de uma RNA está armazenado nas sinapses, ou seja, nos pesos atribuídos às conexões entre os neurônios. Entre 50 a 90% do total de dados para “alimentação” devem ser separados para o treinamento da Rede. Estes dados são escolhidos randomicamente, a fim de que a rede aprenda as regras e não "decore" exemplos. O restante dos dados só é apresentado à RNA na fase de testes, fazendo com que ela possa deduzir corretamente o inter-relacionamento entre os dados. Este é um dos pilares da IA, o aprendizado por treinamento (Kovács,1997).

Outro fator importante e decisivo para o êxito de uma experimentação é o modo com o qual uma RNA se relaciona com o ambiente. Nesse contexto existem os seguintes paradigmas de aprendizado (Arbib, 1995):

1. Por independência de quem aprende

As RNAs aprendem por memorização, contato, exemplos, realizando analogia, por exploração e também por descoberta.

2. Por retroação do mundo

Relaciona-se à presença ou ausência de realimentação explícita do mundo exterior, ou seja, que em certos intervalos de tempo um agente assinala acertos e erros.

2.1 Aprendizado Supervisionado: utiliza um agente externo que indica à Rede um comportamento bom ou ruim, de acordo com o padrão de entrada.

2.2 Aprendizado Não Supervisionado (auto-organização): não utiliza um agente externo indicando a resposta desejada para os padrões de entrada. Utilizam-se, entretanto, exemplos de coisas semelhantes para que a Rede responda de modo semelhante.

3. Por Finalidade do Aprendizado

3.1 Auto-associador: é apresentada à Rede uma coleção de exemplos para que ela memorize. Quando se apresenta um dos elementos da coleção de exemplos, mas de modo errôneo, a Rede deve mostrar o exemplo original, funcionando assim como um filtro.

3.2 Hetero-associador: é uma variação do Auto-associador, mas que se memoriza um conjunto de pares. O sistema aprende a reproduzir o segundo elemento do par mesmo que

o primeiro esteja pouco modificado, funcionando assim como um reconhecedor de padrões.

É necessário, também, que exista um detector de regularidades, que nada mais é que um reconhecedor de padrões onde o sistema deve se auto-organizar e criar padrões possíveis. Podemos denominar, ainda, um ciclo como sendo uma apresentação de todos os n pares (entrada e saída) do conjunto de treinamento no processo de aprendizado. A correção dos pesos num ciclo pode ser executada de dois modos:

1. **Modo Padrão**: A correção dos pesos acontece a cada apresentação à Rede de um exemplo do conjunto de treinamento. Cada correção de pesos baseia-se somente no erro do exemplo apresentado naquela iteração. Assim, em cada ciclo, ocorrem n correções.
2. **Modo Batch**: Apenas uma correção é feita por ciclo. Todos os exemplos do conjunto de treinamento são apresentados à RNA, onde seu erro médio é calculado e a partir deste erro são feitas as correções dos pesos.

O processo de plasticidade cortical em uma RNA foi simulado numa Rede do tipo Kohonen (figura 06), que foi proposta por possuir certas semelhanças funcionais com redes neurais biológicas. Esta analogia se verifica pela

capacidade de auto-organização da rede, um processo fundamental nos sistemas orgânicos vivos.

O traçado básico do modelo de Kohonen se constitui numa RNA de treinamento não supervisionado, tendo apenas duas camadas. Convenciona-se dizer que esse tipo de Rede possui um paradigma topológico, uma vez que a Rede pode apresentar qualquer formato geométrico bidimensional em sua camada de saída, seja hexagonal, retangular, triangular ou de outros contornos.

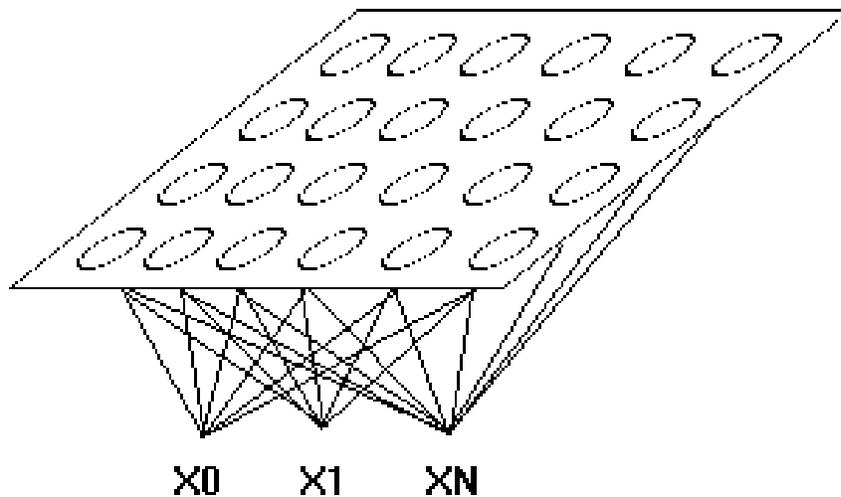


Figura 6 – RNA Tipo Kohonen.

Após a escolha de qual o tipo de RNA deve ser utilizada e definida qual a sua arquitetura, segue-se uma fase chamada de treinamento. Nesta fase a tarefa proposta é "treinar" a RNA com uma coleção de estímulos (sinais

complexos, vozes, imagens, *etc.*) para que esta reconheça quando em operação, assim como determinado pelos paradigmas de retroação.

Na fase de treinamento, os neurônios da camada de saída competem para serem os vencedores a cada nova iteração do conjunto. Em outras palavras, sempre que é apresentada, à RNA, uma entrada qualquer, existe uma competição entre os neurônios da camada de saída para representar a entrada apresentada naquele momento. O aprendizado nada mais é do que a apresentação de modificações sucessivas nos pesos dos neurônios, de modo que estes classifiquem as entradas apresentadas. Conclui-se que a RNA "aprendeu" quando ela passa a reconhecer todas as entradas apresentadas durante a fase de treinamento.

Em suma, entende-se como êxito no aprendizado da RNA quando um estímulo apresentado na entrada, sempre que este seja novamente apresentado à Rede, o neurônio que foi treinado para representá-lo automaticamente será disparado. Ele informará, com precisão, qual foi o estímulo apresentado para a RNA, confirmando o aprendizado (Arbib, 1987).

Outra característica das RNAs é a capacidade de reconhecer variações dos estímulos treinados. Esta importante característica significa que se for apresentado um estímulo X qualquer, semelhante a um estímulo Y que fez parte do conjunto de treinamento, existe uma grande probabilidade de que o estímulo

X seja reconhecido como o estímulo Y treinado. Atuando deste modo, representa a capacidade de generalização de uma RNA (Rumelhart *et al.* 1986).

Existe uma grande questão levantada quando se discute sobre o aprendizado de uma Rede. Surge no cerne de uma dúvida que atinge regras biológicas, inclusive. Enfim, como aprendemos? Uma teoria, proposta por Hebb, em 1949, responde parcialmente esta incerteza para o uso lógico das RNAs. A idéia central está na seguinte afirmação: *"Quando um axônio de uma célula A está próxima o suficiente de excitar uma célula B e repetidamente ou persistentemente toma parte em ativá-la, algum processo crescente ou mudança metabólica se apossa de uma ou ambas as células de forma que a eficiência de A, assim como a de uma das células B excitadas, são aumentadas"* (Hebb,1949).

Assim como no modelo proposto por McCulloch e Pitts em 1943, esta lei de aprendizagem não esclarece tudo sobre este processo. Entretanto, de algum modo, ela está presente em muitos modelos de RNAs utilizadas. Pode ser utilizado o exemplo de condicionamento clássico, comportamental, tal como realizou Pavlov, para ilustrar a idéia anteriormente exposta. O conceito é que um condicionamento prevê uma mudança ou reforço de padrão, basicamente por repetição ou observação. Consequente, há um aprendizado e esta transformação ocorreu em algum nível hierárquico. Visto que as conexões entre neurônios ocorrem através do uso de sinapses, é bastante razoável prever que qualquer

modificação que ocorra durante o aprendizado ocorra nestas. Hebb teorizou que a área da junção sináptica aumenta em decorrência deste mecanismo.

Confirmando esta teoria, a neurofisiologia afirma que o responsável por isto é o aumento na taxa de liberação de neurotransmissores na fenda sináptica, efetuada pela célula pré-sináptica ou com a modificação na estrutura dos receptores. Em qualquer uma das atividades neurofisiológicas descritas, mudanças certamente ocorrem na sinapse. Se nem a célula pré, nem a pós sináptica, são alteradas como um todo, outras respostas que não são relacionadas ao experimento podem ser evidenciadas (Hestenes,1998).

2.4 - Aplicações das Redes Neurais Artificiais.

As possibilidades de aplicação das RNAs são inúmeras e ainda em franco desenvolvimento. Pode-se afirmar que sempre surgirão novas perspectivas para que sistemas baseados em IA sejam desenvolvidos. Também obteremos um princípio, inicialmente desafiador, de que estes modelos nunca poderão fornecer todas as respostas e que sempre serão complexos Um dos destaques das aplicações e já com uso consagrado é observado em sistemas especialistas aplicados a regras e prognósticos de mercados financeiros.

Grupos de investimentos internacionais utilizam RNAs para analisar, pelo menos, uma parte do mercado financeiro e auxiliarem nas suas seleções. Um exemplo pode ser dado, citando a opção que uma administradora de cartões de crédito tem para conceder ou não o benefício, analisando o perfil do solicitante, seu histórico de transações comerciais, baseado no aprendizado da RNA utilizado para a análise. Neste caso, a Rede se encarrega de, a partir de dados alimentados no seu sistema de banco de dados, comparar o risco implícito de um consumidor a partir de sua inclusão em padrão populacional. Com isso pode ser teoricamente traçado um perfil de julgamento e decidir sobre a concessão do cartão de crédito e de quanto seria disponibilizado para o cliente em seu limite de compras. Variáveis como idade, condição acadêmica e social, estado civil e até frequência de atrasos no pagamento de faturas em outras experiências de crédito são utilizadas neste estudo e, como resultado, seu crédito será ou não concedido (Kovács, 1997). Outras aplicações bem sucedidas das técnicas de RNAs são: controle de processos industriais, aplicações climáticas e identificação de fraudes em operações financeiras e seguros de saúde.

Na área médica, em suas primeiras tentativas de certificação baseadas em aprendizado implícito, as RNA eram submetidas a uma série de diagnósticos de pacientes, com várias características e diversos sintomas. O objetivo desta inclusão de dados seria essencial e indispensável para quando forem apresentados os dados de um novo paciente, com seus sintomas, a Rede forneceria um diagnóstico para os novos casos.

Esta técnica essencialmente cria um sistema com o conhecimento artificialmente construído baseado na Semiologia aplicada por vários médicos, visando estabelecer um diagnóstico inicial em tempo real a um outro médico. Cabe salientar, à luz de princípios bioéticos, que com esta técnica o que se pretende é programar uma ferramenta de auxílio ao médico, e não um programa que o substitua. Esta possibilidade representa um primeiro passo para a utilização das RNAs como instrumento válido na prática médica e que seu uso, a partir deste momento, seria mais aprofundado e útil para múltiplas finalidades.

Adjacente ao avanço na capacidade do processamento de dados, adquirindo rapidez e facilidade de manipulação, os novos computadores substituíram as antigas RNAs, construídas de modo analógico, por outros baseados em *softwares* com múltiplas funções. Acrescidos de programas estatísticos e sistemas operacionais, tais ferramentas eletrônicas se mostraram extremamente velozes e funcionais, facilitando a construção e treinamentos dos sistemas e oferecendo melhor verossimilhança nos resultados. As RNAs que averiguaremos como base deste estudo têm a lógica connexionista como seu fundamento.

2.5 – Experimentos com Redes Neurais Artificiais: Modelos Clássicos

Os investigadores dos modelos conexionistas têm feito avanços significativos na demonstração do poder de RNAs para desempenhar tarefas cognitivas. Citaremos três experimentos muito conhecidos que motivaram pesquisadores a acreditarem que as RNAs são excelentes modelos para representar a inteligência humana. Um dos mais destacados esforços é o trabalho de Sejnowski e Rosenberg (1987), que desenvolveram uma Rede que podia ler textos em inglês, chamada NETtalk. O ambiente de treinamento para a NETtalk era um grande banco de dados que consistia em um texto de língua inglesa, acoplado com sua saída fonética, escrita em um código identificável para uso com um sintetizador de voz. Gravações do desempenho do NETtalk em seus diferentes estágios de treinamento são muito interessantes de se ouvir. A primeira saída é um ruído randômico. Na etapa seguinte, os sons da Rede parecem balbuciar, para depois simularem uma conversa dupla em inglês (discurso que é formado por sons que se assemelham às palavras do idioma). No final do treinamento, esta habilidade generaliza satisfatoriamente o texto apresentado no ambiente de teste.

Outro influente modelo conexionista para ilustração foi uma RNA treinada por Rumelhart e McClelland (1986) para prognosticar os participios passados dos verbos ingleses. A tarefa é interessante, porque embora a maioria dos verbos em inglês (os verbos regulares) forme seu tempo passado pela adição do

sufixo '-ed' (p.ex. walked, shooted), os verbos mais comuns utilizados neste idioma são irregulares ('is' – 'was', 'come'-'came', 'go'-'went').

A RNA foi inicialmente treinada em um ambiente contendo um grande número de verbos irregulares e depois em outro com 460 verbos contendo as regras clássicas. A Rede aprendeu o particípio passado dos 460 verbos em aproximadamente 200 ciclos de treinamento, e ela generalizou com sucesso os verbos que não estavam no ambiente. Apresentou um bom julgamento das regras e especificidades a serem aplicadas aos verbos irregulares ('send'-'sent', 'build'-'built', 'blow'-'blew', 'fly'-'flew').

Durante o treinamento, como o sistema foi exposto ao ambiente de treinamento contendo na maioria verbos regulares, a Rede tinha tendência a super-regular, ou seja, combinar ambas as formas regular e irregular ('break'-'broked', ao invés de "break'-'broke'). Tal erro foi corrigido com treinamentos adicionais. Cabe destacar que as crianças exibem a mesma capacidade de super-regular durante seu processo de aprendizagem.

Todavia, há um intenso debate sobre a real implicação do estudo de Rumelhart e McClelland em ser um adequado modelo de como os seres humanos atualmente aprendem e processam os finais dos verbos. Contrariamente, argumentos destacam que este modelo realiza um precário trabalho de generalização de alguns novos verbos regulares (Pinker, 1988).

Estas críticas se baseiam na crença de que esse erro é um sinal da falibilidade dos modelos conexionistas. As Redes conexionistas devem ser boas o suficiente para realizar associações e reconhecer padrões, mas elas têm limitações fundamentais no domínio de regras gerais tais como a formação de participio passado.

O terceiro trabalho a ser destacado é a experiência de Elman (1991) que analisou RNA que podiam apreciar a estrutura gramatical. Este estudo teve destacadas implicações para o debate sobre como as RNAs podem aprender a dominar regras. Elman treinou uma simples Rede a predizer a próxima palavra em um longo enunciado de frases em inglês. As sentenças foram formadas a partir de um pequeno vocabulário de 23 palavras usando a gramática inglesa. Foram permitidas ilimitadas formações de cláusulas enquanto demandasse a concordância entre o início da frase e o verbo. Usemos como demonstração a seguinte sentença em inglês:

“Any **man** that chase dogs that chase cats...runs”

O tempo singular ‘man’ deve concordar com o verbo ‘runs’ apesar da presença de termos plurais como ‘dogs’ e ‘cats’, que poderiam concordar com o tempo do ‘run’. Uma das destacadas características do modelo de Elman é o uso em conexões recorrentes. Os valores das unidades implícitas são salvos em um ambiente chamado de unidades de contexto. Estes retornos às camadas de

entrada das unidades implícitas provêm à Rede uma forma rudimentar de memória da seqüência de palavras da sentença gramatical de origem.

A partir de análises bem delimitadas, encampadas em sua maioria por pensamentos voltados a aspectos da psicanálise e a possibilidade de desempenhar testes baseados em anormalidades (Spitzer, 1998), modelos conexionistas baseados em RNAs adquiriram novas aplicações a partir do final da década de 1980.

Os modelos conexionistas provêm um novo paradigma para o entendimento de como a informação pode ser representada em processos biológicos cerebrais. Utiliza-se uma idéia interessante, mas simplória e aparentemente ingênua, de que neurônios isolados (ou pequenos grupos neuronais) podem ser arregimentados para representar cada demanda que o cérebro necessita para processar suas informações.

Recorrendo a uma ilustração, podemos imaginar que exista um grupo neuronal que represente a imagem de uma criança sorrindo e estes se ativam quando de fato vemos uma criança sorrindo. Entretanto, esta teoria localizacionista não é verossímil. Há um envolvimento mais refinado no que concerne a esta representação, reconhecendo que na ocorrência de um pensamento do sorriso da criança são envolvidos padrões complexos de

atividade, distribuídas através de diversas partes do córtex, não somente num único núcleo.

Diversas análises da importância dos modelos conexionistas discutem o compartilhamento de suposições clássicas com teorias contemporâneas da Ciência Cognitiva e da Neurobiologia. Apresentam o argumento que modelos conexionistas são poderosas plataformas para a construção e ainda prestam para testar teorias que são acessíveis para uma grande variedade de investigadores. Segundo um extenso artigo de revisão escrito por Siegle (2002), os argumentos conexionistas criaram vasta gama de publicações e remete a autores como Arbib, Rumelhart, Hinton e McClelland, que descrevem modelos de aplicação destas técnicas, que veremos no decorrer desta revisão.

Os modelos conexionistas representam proposições, características ou informação neuronal com significado, por meio de Redes de unidades conectadas. Em Redes consideradas semânticas cada unidade tem um significado. Nas Redes Neurais, propriamente ditas, as unidades não tem significado individual; a informação é representada numa forma distribuída por ativação simultânea de múltiplas unidades. As unidades recebem a ativação a partir de outras unidades com as quais estejam conectadas, respondendo aos estímulos das primeiras e, após transformar esta entrada (*input*) de acordo com a função de transferência, enviam a ativação a outras unidades. Com isso as unidades têm sido comparadas a neurônios biológicos, que recebem

informações em dendritos e as enviam em um agregado de codificações pelo axônio.

A estrutura ou arquitetura de uma RNA Conexionista gerencia qual tipo de informação pode alimentá-la, os modos pelos quais as unidades se comunicam e qual informação a Rede produz. A resposta desta RNA aos estímulos geralmente envolve uma sucessiva ativação de múltiplas unidades. Para sua construção, o desenvolvedor da Rede determina o que estas ativações representam. Com isso, os processos operacionais usando Redes Conexionistas podem corresponder a paralelos neuronais, cognitivos e comportamentais (Barnden, 1995).

Por modificações estratégicas no peso das conexões entre as unidades, processo conhecido como treinamento, a Rede pode ser habilitada a produzir ativações específicas, em resposta a diferentes estimulações. Este método tem sido utilizado para fazer uma RNA aprender uma associação de estímulos com a sua resposta. Numerosos procedimentos para permitir uma Rede aprender as associações nesta modelagem foram propostos por autores como Fahlman & Lebiere (1991) e Rumelhart, Hinton & Williams (1986) , alguns dos quais são análogos aos mecanismos de aprendizado biológico. Por exemplo, o aprendizado baseado na teoria Hebbiana funciona a partir do pressuposto que na existência de duas unidades concorrentemente ativas, a conexão entre elas

tender a fortalecer, mecanismo muito semelhante ao aumento na força sináptica associada com o disparo neural concorrente (Arbib, 1995).

O uso de tais regras de aprendizado permite a criação de modelos para desenvolvimento de processos associativos que não sejam passivos de enviesamento por seus criadores. Se um modelador especifica que as entradas, saídas e seu perfil de conectividade, as conexões resultantes são frequentemente espontâneas e sujeitas a análises úteis.

Os comportamentos dos modelos conexionistas são avaliados em dimensões que refletem os processos para os quais eles foram designados a explicar. Esta avaliação pode ser especialmente complicada se utilizados modelos exclusivamente teóricos. Entretanto, com o uso de programas computacionais, tornam-se inúmeras as possibilidades de aplicação e avaliações fidedignas destes modelos. Como exemplo, se uma RNA simula o desempenho em uma tarefa de informação e processamento, as associações da Rede podem ser equiparadas a associações analogamente corretas com taxas de erro humano (Siegle, 2002).

De modo semelhante, o número de ciclos de processamento associativo ou iterações que a RNA necessita para ajustar uma resposta aprendida a um estímulo, pode ser examinado como um análogo do tempo de reação. Alternativamente, se a Rede é desenhada para simular a atividade cerebral

associada a estímulos, a atividade desta Rede durante o tempo de ativação pode ser examinada como análoga da atividade cerebral real.

A partir da revisão destes conceitos, podemos considerar que os modelos conexionistas apresentam diversos parâmetros que podem variar, como a potência relativa das suas conexões com a RNA, a taxa e razão com as quais a Rede pode aprender e o número de unidades designadas para representar os tipos de informação dentro desta Rede. Manipulações sistemáticas destes parâmetros são frequentemente utilizadas para modificar uma função da Rede específica, visando representar um modelo patológico de transtorno mental.

A modelagem de sistemas naturais é o principal alvo que estudos com RNAs buscam para representar as psicopatologias, distorções cognitivas e alterações biológicas na arquitetura esperada no cérebro. As representações destas ocorrências podem ser feitas com a simulação de lesões envolvendo a ablação de neurônios na Rede. Em acréscimo, a simulação de processos do pensamento que resultem em mudanças na atividade neuroquímica, frequentemente reflete modificações nas vias neuronais envolvidas para tal ocorrência em situação real.

3. MODELOS E ESTUDOS EM PSICOPATOLOGIA POR MODELAGEM CONEXIONISTA

3.1- Investigações Psicopatológicas e RNAs

As vantagens do uso de modelos conexionistas, baseados em pesquisas sobre cognição apóiam-se na possibilidade em que as RNAs superem algumas limitações clínicas convencionais. Utiliza-se desta forma seguinte metodologia:

- a. Especificação das variáveis para investigação (conceituando um transtorno de um modo que possa ser passível de validar a investigação);
- b. Desenho das avaliações;
- c. Interpretação de padrões nas diferenças individuais dos resultados das investigações;
- d. Generalização a partir de investigações dos fenômenos não avaliados.

Os modelos conexionistas apresentam uma peculiar capacidade em simular o ambiente de processamento mental. Serão analisadas as regras gerais de seu uso, para posteriormente abordarmos em especial sua aplicação nos fenômenos psicopatológicos.

Especificando a investigação, as escolhas dos pesquisadores em Ciência Cognitiva sobre o que investigar normalmente decorrem dos argumentos comportamentalistas, cognitivistas, biológicos e sociais. Criar uma teoria consistente e rigorosamente específica, que justifique uma interação potencial e com relacionamentos não-lineares entre estes domínios, requer um elevado grau de complexidade. Modelos conexionistas podem auxiliar especificamente na compreensão de que as variáveis são importantes para a relevância de uma investigação, sendo que eles fornecem modelos de relacionamento entre mecanismos dos transtornos e seus produtos cognitivos e comportamentais.

Por exemplo, se uma RNA for desenhada para capturar aspectos de uma situação comportamental, examinando as saídas da Rede pelo funcionamento de suas entradas, é possível ser esta analisada como uma simuladora de certo nível comportamental. Caso a Rede seja desenhada com relevantes estruturas cognitivas da mente, esta favorece o exame da operação interna da RNA como análoga à avaliação dos processos cognitivos resultantes apresentados (Tryon, 1993).

Sendo assim, o paradigma conexionista tem sido justificado para ajustar modelos com forte poder preditivo (Sarle, 1994), justificada congruência biológica (Cohen & Servan-Schreiber, 1992b) e que formem padrões pelos quais se possa compreender o comportamento em tarefas de processamento. Como complemento, modelos conexionistas parecem ter habilidade de explicar

fenômenos de difícil abordagem do que outros construtos detentores de técnicas tradicionais, que confiam em conhecimento de regras explícitas para administrar seu sistema, como no caso de uma Rede simbólica (Hecht-Nielsen, 1990).

Os modelos conexionistas para as psicopatologias são pontos de partida para o entendimento dos mecanismos dos transtornos, devido ao embasamento científico acessível aos modeladores. Os investigadores podem recorrer a uma ampla variedade de modelos desenvolvidos, a partir dos substratos cognitivos e comportamentais dos transtornos. Este alcance a partir de construções básicas tais como os bloqueios da cognição e do comportamento no condicionamento clássico (Aparício, 1992), aspectos da memória (Kohonen, 1988) e a atenção auxiliam a construir modelos para os processos afetivos tais como a agressão (Berkowitz, 1990) e o condicionamento ao medo. Outras inferências dos transtornos que já foram modelados incluem avaliações de distorções cognitivas (Shultz & Lepper, 1996), cognições inconscientes, extroversão, ambivalência e rupturas dos esquemas pessoais (Stinson & Palmer, 1991). De modo semelhante, modelos de áreas cerebrais implicadas nos transtornos têm se mostrado bem relevantes, incluindo aspectos do comprometimento hipocampal e sua relação com o condicionamento clássico, assim como modelos para avaliação de gânglios da base (Hasselmo, Wyble & Stern, 1998). Os modelos conexionistas usados para explicar os transtornos e seus níveis de comprometimento também têm sido aplicados para representar a disfunção neuronal plena e para transtornos de personalidade.

A possibilidade das RNAs conexionistas capturarem aspectos dos transtornos mentais foi registrada em grande número de estudos. Greg Siegle, um dos principais pesquisadores, catalogou em 1998 que 360 pesquisas estavam propostas ou avaliadas, a partir de bancos de dados da Internet (Siegle, 1998). Destes estudos, segundo a observação de Siegle, aproximadamente 120 descreviam ou avaliavam modelos contemplando psicopatologias, incluindo a Depressão (Luciano, 1996) Transtornos de Ansiedade (Ludik & Stein, 1998) e a Esquizofrenia (Cohen & Servan-Schreiber, 1993). Considerando outras alterações com repercussão nos componentes cognitivos, modelos conexionistas também foram propostos para a demência do tipo Alzheimer (Hasselmo & Wyble, 1997), assim como para Transtornos da Linguagem.

Os modelos conexionistas desenvolvidos a partir de programas computacionais apresentam vantagens especiais para o entendimento dos transtornos em grupos selecionados ou individualmente. Devido ao fato do computador conseguir apenas testar teorias rigorosamente específicas e poder se comportar como o esperado (quando conclusões teóricas se seguirem após as suposições), a máquina mostra-se obrigada a representar uma consistência teórica adequada. Além disso, simulações computacionais permitem prever os efeitos dos processos de interação caótica, que são difíceis ou impossíveis de serem especificados teoricamente (Movellan & McClelland, 2001).

Observando tais características, pode-se afirmar que um dos prêmios das representações conexionistas para a investigação clínica envolve sua capacidade de exigir uma conceituação científica e clínica do que se investigar, além de deduções de acordo com regras explícitas. Como o estabelecimento destas regras na Ciência Cognitiva se tornou muito variável, mantê-las rigorosas e plausíveis, sem a ajuda de simulações, pode se transformar num problema insolúvel. Entretanto, com o avanço de técnicas mais refinadas de observação, além de aparatos computacionais potentes, as simulações podem ser feitas com rapidez e com número maior de ciclos para o treinamento das RNAs, apresentando melhores resultados e com aplicabilidade clínica.

Utilizando exemplos de como modelos conexionistas têm auxiliado a elucidar variáveis relacionadas à investigação cognitiva, pode-se vislumbrar sua utilidade. Hoffman e McGlashan (1993) usaram uma RNA para sugerir que as alucinações auditivas na Esquizofrenia podem ser resultantes da associação do influxo de estímulos auditivos com força específica (geralmente, bem assimiladas pelo ouvinte) a “atratores” (*attractors*), nos circuitos neuronais envolvidos na percepção do discurso. Estes estímulos estabelecem uma alternativa de investigação para os autores acima citados traçarem uma nova determinação de variáveis de modo empírico, criando um novo tipo de investigação clínica de uso promissor.

Especificamente, o modelo apresentado prediz que indivíduos esquizofrênicos poderiam perceber incorretamente um sinal de ruído devido a incorrerem na falha de sempre identificá-los e associá-los aos fortes “atratores” patológicos. Hoffman e McGlashan, então, testaram e encontraram que a presença ou não de fenômenos alucinatórios nestes indivíduos pode desvendar o grau de disfunção baseado no aporte de ruídos que ativem (ou não) tais ocorrências (Hoffman, Rapaport, Mazure & Quinlan, 1999). Esta investigação pode colaborar com a clínica, pretendendo esclarecer o impacto das alucinações surgidas em ambientes prejudicados, que ofereçam possibilidades de aporte de estímulos passíveis de deterioração cognitiva. Identificar e quantificar estes estímulos, mesmo individualmente, mostra-se como um exercício de aplicação destes métodos.

Para desenhar as investigações devem ser identificadas as variáveis relevantes. Assim, métodos de avaliações podem ser desenhados. A estrutura de uma RNA conexionista produzirá percepções únicas a seu respeito. Devido às operações de uma Rede ocorrerem em paralelo, os investigadores discutem sobre como um estímulo pode provocar uma resposta perceptível, a qual significa uma resposta psicológica. Esta RNA conduz ao comportamento de conceitos integrados em que todos os níveis de processamento operam simultaneamente.

Deste modo, percepção e fisiologia são naturalmente imaginadas como interativas e mutuamente influenciáveis. Deste modo se representa uma RNA que pode colaborar no exame dos mais usuais comportamentos observados na psicopatologia (p.ex., como a sensação de tratamento pode impactar nos pacientes com Transtorno de Ansiedade Generalizada).

As pesquisas para estabelecer as avaliações geralmente envolvem o recrutamento de indivíduos reais, com investimento de quantias financeiras consideráveis. Fatores como desentendimentos, remissão entre indivíduos recrutados e efeitos muito discretos para serem detectados em uma amostra pequena, normalmente conduzem a erros nos resultados. Devido à admissão voluntária e sem custos de participantes nas pesquisas, uma simulação conexionista pode, às vezes, substituir a geração de hipóteses inicial dos experimentos com seres humanos.

A possibilidade de desenvolver estudos empíricos e com boa fidedignidade faz com que as simulações permitam, aos pesquisadores e clínicos, a criação de cenários exploratórios com a premissa “e se?” sendo considerada. Ludik e Stein (1998) tentaram compreender os mecanismos subordinados às interrupções no trabalho do *Stroop Color Naming* em indivíduos com Transtorno Obsessivo-Compulsivo.

Ao serem desenvolvidos modelos conexionistas baseados em programas computacionais, estes alcançarão maior possibilidade de uso devido ao interesse de pesquisadores em desenvolver tecnologias de avaliação clínica. Técnicas controversas como as encontradas em avaliações de lesões em indivíduos antes e depois de lesão cerebral induzida e seus estados psicopatológicos decorrentes ou, ainda, por exposição a tratamentos potencialmente danosos são antiéticos. Utilizando-se dos mesmos procedimentos de modo empírico, por intermédio das RNAs, não seriam expostas as populações dos estudos a tais riscos. Estes procedimentos podem identificar possibilidades de como os modelos poderiam refletir alterações em um indivíduo, embora não possam ser considerados como substitutos de experimentos com seres humanos.

Os modelos como o de Jonathan Cohen (1992b) tem abastecido a comunidade científica com importantes dados e descobertas, assim como demonstram sua aplicação metodológica na avaliação dos transtornos psiquiátricos. A modelagem neural sugere que a ruptura com um parâmetro comum para as RNAs, ordenado pela razão “sinal-ruído” em neurônios artificiais associados ao processamento de contexto, resulta em rupturas como aquelas observadas em indivíduos esquizofrênicos, simulados em modelos de múltiplas tarefas de informação e processamento.

Os resultados das investigações com esquizofrênicos foram comparados com a teoria de que o funcionamento do córtex pré-frontal é normalmente disfuncional. Cohen, então, desenvolveu tarefas que envolviam memória de trabalho (*working memory*), com ou sem manipulação do processo de contexto da Rede. Encontrou que indivíduos com Esquizofrenia primariamente apresentavam as funções do córtex pré-frontal comprometidas nas tarefas que requeriam processamento de contexto (Barch et al. 2001).

Para a interpretação de diferenças individuais nos resultados das investigações, a análise de investigações empíricas deve ser realizada por modelos conexionistas. A aplicação mais usual das RNAs envolve a utilização de algoritmos de aprendizagem para a associação da função de entrada da Rede, como resultados das investigações, com as saídas dela, representada pela característica dos participantes. Estes modelos são aplicados para práticas diagnósticas (Pugh, 1991) e a divisão da variação de sintomas nos transtornos (Luciano, 1996). Este tipo de modelagem substitui algumas das mais comuns técnicas estatísticas, como a regressão linear. Devido ao fato de que a RNA consegue aprender associações não lineares, mapas resultantes provêm resultados mais adequados do que as técnicas de regressão linear.

Quando as etapas de processamento numa RNA correspondem a uma mudança de estado do sistema durante o tempo, qualquer entrada de dado pode ser executada para produzir uma seqüência de produtos. Permite este aspecto a

mensuração do auto-reporte, antecipando como um indivíduo responderá a um estímulo com o passar do tempo. Promove, deste modo, a capacidade de investigar a relação temporal.

Com frequência estes modelos são operacionalizados para manipulação de variáveis contínuas. As lesões são atribuídas como causadoras de destruição de grupos neuronais, que numa RNA corresponderia à retirada de neurônios artificiais ou de camadas. A simulação de lesões mais abrangentes pode ser realizada com a ablação de outras camadas nestes modelos. De modo semelhante, padrões psicopatológicos envolvem a suposição que características destacadas dos transtornos podem ser representadas por uma Rede com conexões que conduzam à ativação de um estado particular desconsiderando o estímulo.

Tryon (1999) sugere que o Transtorno de Stress Pós-Traumático envolve uma tendência a associar qualquer aporte de estímulos com as memórias traumáticas. Isto ocorre pela ativação de conexões de auto-reforço (“atratores”), que representam aspectos do evento negativo na memória do indivíduo. A severidade nestes casos depende da força de seu “atrator”. Este modelo traça guias para investigação das diferenças individuais.

Esta técnica é valiosa para pesquisadores que desejam testar uma teoria de diferenças individuais, onde muitas variáveis são envolvidas e poucos

participantes são recrutados. Geralmente, quando muitas variáveis são envolvidas, graus de liberdade são rapidamente absorvidos nas análises estatísticas, requerendo a participação de mais indivíduos, um n maior. De outro lado, se as variáveis forem usadas para ajustar um modelo que gere uma mensuração esperada para cada desempenho do participante, o comportamento da RNA pode ser usado para compor uma quantificação.

Um modelo bem validado pode ser usado para compreender os mecanismos implícitos das investigações clínicas. A experiência com os parâmetros dos modelos é capaz de designar quais as mudanças nestes mecanismos que podem levar a observação de distúrbios psicológicos ou comportamentais. Esta técnica foi usada por Lloyd (1998) para entender um caso clássico descrito por Sigmund Freud. A Lucy R. era uma paciente que era acometida por alucinações olfativas associadas com suas experiências de infância.

Sigmund Freud relatou o caso usando constructos psicanalíticos, citando o envolvimento do id e do superego. Lloyd, ao contrário disto, demonstrou que um modelo onde as conexões representativas de experiências precoces se tornaram psicopatologicamente fortes, como resultado de simples exposições a estímulos durante um período de intenso aprendizado, possibilitaram o surgimento dos comportamentos relatados por Lucy. O citado autor usou um modelo para desafiar os aspectos da Psicanálise e sugeriu vias de investigação

que podem ser importantes na terapia com pacientes com sintomas semelhantes.

Ao generalizar os fenômenos não avaliados, a investigação clínica mostra-se interessada em entender como variáveis não mensuráveis (p.ex., uma intervenção) poderia modificar um comportamento ou um padrão individual. Devido as teorias que consideram variáveis comportamentais, biológicas e cognitivas, mais simples e interativas as explorações com RNAs conexionistas podem se tornar. Uma vez criado um mecanismo que represente o transtorno psíquico análogo dentro do modelo, simulações especulativas podem ser executadas, em geral para representarem como as novas variáveis interagem com esse mecanismo para mudar os comportamentos e as expressões patológicas da mente.

3.2 – RNAs e o Processamento de Informações nas Depressões

A depressão é uma das prevalentes causas de incapacidade na população humana, bem delimitada em seus aspectos fenomenológicos e que envolve o comprometimento da cognição. Sintomas como pessimismo e desalento são observados na maioria dos indivíduos deprimidos, acarretando prejuízos no funcionamento psíquico e sua relação com o ambiente. Tais ocorrências podem

ser consideradas como distorções da cognição e se apresentam intrínsecas aos processos patológicos da depressão.

Os sintomas cognitivos normalmente são relacionados à como os indivíduos com Transtorno Depressivo processam as informações (Teasdale, 1988). Deprimidos também demonstram excessiva atenção a informações negativas (Williams, Mathews & MacLeod, 1996), pensamentos ruminativos sobre estas informações e as interpretam como negativas. O aumento do processamento de informações negativas tem sido relacionado à piora dos sintomas depressivos (Schwartz & Garamoni, 1989).

Explicações dos processos cognitivos e biológicos têm sido formuladas a partir das tendências patológicas apresentadas pelos indivíduos com depressão. Tais representações geralmente tratam a depressão como uma entidade homogênea, prevendo que todos os indivíduos com diagnóstico de Transtorno Depressivo apresentam padrões semelhantes de mecanismos de processamento das informações. O desenvolvimento de aspectos da teoria de informação-processamento, com o uso de modelos computacionais, permite ao investigador clínico examinar formalmente quais são os diferentes tipos de mecanismos da Depressão esperados para produzir padrões diferentes de processamento das informações ou a existência de similares.

São três os tipos de simulações propostas para descreverem os mecanismos de ruptura do esquema informação-processamento na “cognição depressiva” e suas implicações nas investigações, que serão explicados a seguir:

a. Conexões *Overlearning* relacionadas à perda: Primeiro Mecanismo

Ingram (1984) sugeriu que os Transtornos Depressivos envolvem conexões fortemente ativadas entre as representações mentais de caráter negativo e conceitos relacionados à perda em uma Rede semântica. Quando um processo cognitivo correlacionado à perda se torna ativo, o indivíduo se sente triste e com pensamentos reativos, acarretando um ciclo de sensações e pensamentos do mesmo teor. Implicações clínicas deste modelo são abundantes para o entendimento das decisões terapêuticas (Ingram & Hollon, 1986) e suas avaliações. Neste ponto surge a idéia de que se os eventos relacionados à perda são a base para as rupturas do mecanismo de informação-processamento, então vale explicitar os eventos de vida do indivíduo como subsídio de investigação.

LeDoux (1986) descreve um modelo fisiológico que pode comportar aspectos da teoria de Ingram (1984). Ele sugere que a informação emocional é processada em paralelo, por sistemas cerebrais fortemente interconectados que identificam tanto aspectos emocionais destas informações (pela função da

amígdala) quanto os não emocionais (pelo hipocampo), interagindo para produzir uma alteração comportamental. Além disso, associações emocionais bem incorporadas (reflexões sobre a perda, com reforço de pensamento) podem levar ao aumento do sistema de retroalimentação da conexão amígdala-hipocampal, em resposta aos estímulos negativos recebidos.

**b. Inibição Decrescente das Estruturas de Processamento Emocional:
Segundo Mecanismo**

Outras pesquisas sugerem que indivíduos com Depressão são caracterizados pelo decréscimo da atividade na estrutura dorsolateral esquerda do córtex pré-frontal (Davidson, 2000), que são implicados no “desligamento” de estruturas do processamento emocional. Esta teoria sugere que a tendência do sistema processamento-informação é detida pela dificuldade de inibição das reações emocionais.

c – Aumento dos Pensamentos Ruminativos: Terceiro Mecanismo

A predisposição para o surgimento de pensamentos ruminativos em indivíduos com Depressão é considerada como um fator decisivo para o surgimento de pensamentos negativos sobre material emocional evidente. Este processo pode ser resultado de um firme acoplamento de estruturas associadas,

assim como as informações recebidas podem provocar uma associação emocional (Wells, 2000).

O entendimento de como esses mecanismos pode ser aplicado individualmente é absolutamente relevante, quando desejamos informar a um Psiquiatra ou Psicólogo sobre a natureza do Transtorno Depressivo ou para poder orientar sobre um tratamento. Modelos de RNA (Siegle, 1999), que aqui serão usados como exemplos, podem ser usados para testar se estes diferentes mecanismos são suficientes para promoverem diferenças quantitativas em relação a como um indivíduo vivencia uma Depressão. Também podem ser propostos para sugerir técnicas de investigação do impacto de cada um dos mecanismos aplicados ao indivíduo e, ainda, para propor se os mecanismos podem ser aplicados para produzirem diferentes respostas a cada tratamento.

A RNA é construída para desempenhar aspectos rudimentares do processamento da informação emocional, diferenciando e atribuindo aos estímulos emocionais rótulos como positivos, negativos ou neutros. Como representado na Figura 7 estímulos são processados em paralelo em camadas de neurônios artificiais responsáveis pela identificação de características afetivas e não afetivas. O *feedback* ocorre entre estas camadas como uma analogia simplificada do que ocorre entre a comunicação entre a amígdala e o hipocampo. As camadas intermediárias projetam aos neurônios a responsabilidade de tomar decisões baseadas nas informações, os quais inibem

as unidades de processamento emocional, assim como ocorre na noção de estruturas de processamento integrado (estrutura dorsolateral esquerda do córtex pré-frontal) que “desligam” áreas de processamento emocional.

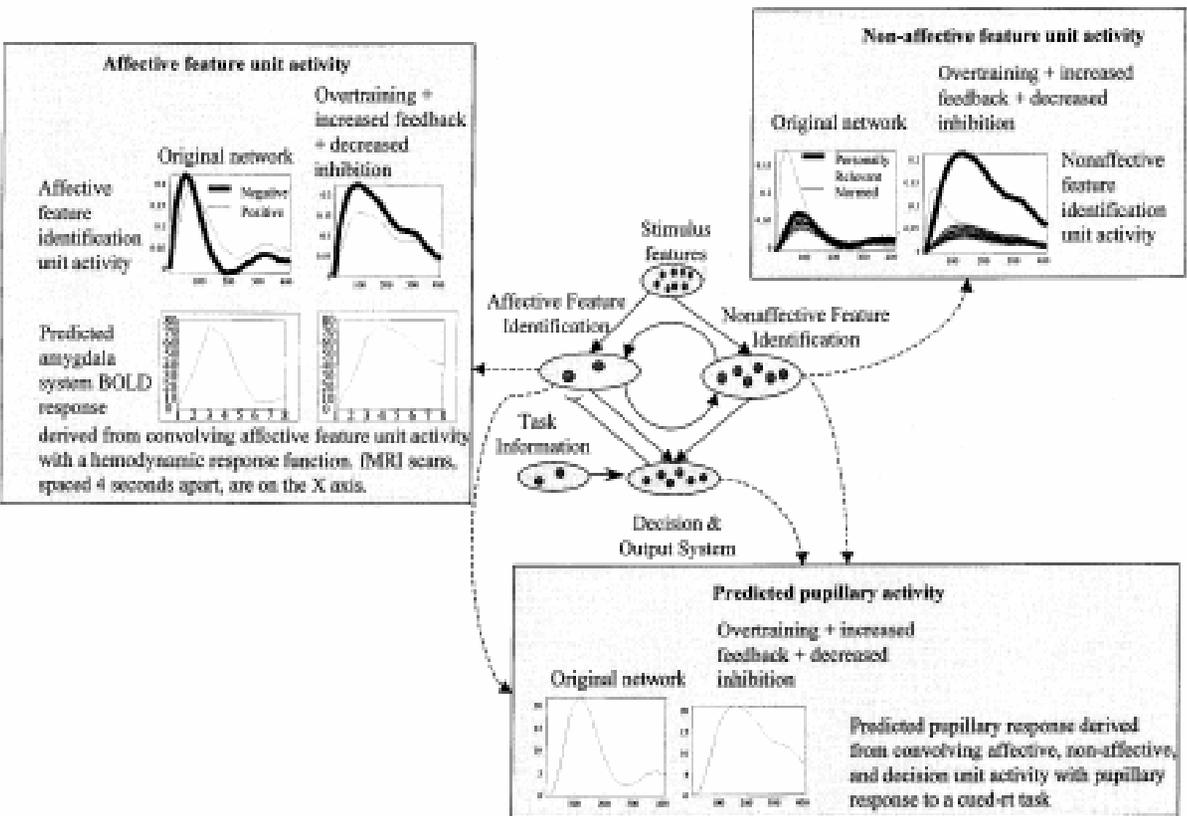


Figura 7 – Atividade em um modelo de RNA de processamento da informação emocional na Depressão (Siegle,1999). O modelo é demonstrado executando uma tarefa de valência emocional (ou seja, identificando quando um estímulo é positivo, negativo ou neutro).

A significância desta Rede é maior na medida em que ela for exposta a novos estímulos. Um maior número de estímulos provoca o surgimento de conexões realçadas entre os sistemas de processamento afetivo e não afetivo, usando a regra de aprendizado de Hebb. De modo destacado, as camadas da RNA não necessariamente representam características biológicas detalhadas em relação ao envolvimento das estruturas cerebrais, mas apenas simulam a atividade funcional hipotética.

A ativação de neurônios artificiais capazes de identificar características afetivas, uma analogia para a atividade de sistemas que identificam o conteúdo emocional (amígdala), assim como a soma das atividades da RNA foram mensuradas por 400 ciclos de processamento. A Rede agiu em resposta a uma tarefa (identificar a emoção associada ao estímulo) quando as atividades integradas nas unidades de decisão ultrapassaram um limiar (Cohen, 1990).

Os preditores para mensurações fisiológicas podem ser obtidos pela adição de atividades através de toda a Rede, ou de uma importante parte dela, e pela filtragem da soma dos tipos de atraso inerentes à mensuração. Por exemplo, as imagens de uma ressonância nuclear magnética funcional (fMRI) quantificam a atividade cerebral em um dado momento. Entretanto, para realizar observações sobre a atividade nas áreas de processamento emocional, a atividade em unidades equivalentes devem ser somadas, atenuadas e

atrasadas, pelo uso de uma operação matemática de convolução, e comparada às típicas respostas da fMRI aos estímulos.

Para simular o primeiro mecanismo de aplicação, o sobre-aprendizado (*overlearning*) de algumas associações negativas, as conexões entre unidades semânticas e afetivas que representem um fraco estímulo negativo foram fortalecidas usando um aprendizado extra conforme as regras de Hebb. Em relação ao segundo mecanismo, a força das conexões negativas para detecção de características afetivas em neurônios artificiais de decisão foi reduzida. Com o terceiro mecanismo, as conexões entre unidades de características semânticas e afetivas foram difusamente fortalecidas.

Demonstrando os resultados, a Figura 7 apresenta o comportamento da RNA quando nenhum análogo de Depressão é simulado e quando todos os três mecanismos são invocados. O “controle” da Rede identifica corretamente os aspectos emocionais da informação e sua representação de características emocionais se torna ativa e rapidamente desaparece. Em contraste, no modelo onde os três mecanismos hipotéticos de processamento da informação depressiva foram utilizados, inicialmente se identificou a validação das informações de modo correto. A representação do modelo de sobre-aprendizado negativo quando assume informações negativas relevantes também rapidamente se ativa e assim permanece. Assim, em processo contínuo, a Rede

tende a associar qualquer influxo de elementos com a informação de sobre-aprendizado negativas.

Este mecanismo identificou o peso das informações negativas mais rapidamente do que as informações positivas, foi mais lenta para reconhecer o conteúdo de outras informações negativas não sobre-aprendidas e processou estas associações por um período prolongado em ambas as tarefas, em resposta aos estímulos positivos, negativos e neutros. Apresentou um processamento sustentado, respondendo a informações negativas.

Estes comportamentos são congruentes com as tendências de informação-processamentos observados nos Transtornos Depressivos. Refere-se à percepção de que indivíduos disfóricos ou com Depressão apresentam rápida tempo de resposta às informações negativas (Siegle et al.2002) e processamento fisiológico de informações emocionais (Siegle et al, 2002).

Em relação ao comportamento de uma RNA para efetuar avaliações multimodais, um artigo publicado por Siegle e Hasselmo (2002) revisa os aspectos investigativos da Rede para os Transtornos Depressivos. Os autores buscam traçar uma linha de abordagem crítica, perfeitamente embasada, que dita algumas tendências para as investigações dos fenômenos psicopatológicos e cognitivos deste transtorno. Por se tratar de uma Ciência com implicações

diversas e ainda não totalmente estabelecidas, a investigação por RNAs ainda necessita de maior validação, segundo eles.

Conforme apresentado, os estudos sugerem que, antes de ser adotada outra abordagem, faz-se necessário considerar o reconhecimento dos três mecanismos implicados para o desenvolvimento de aspectos investigativos como extremamente relevantes. Com níveis menores de dois dos três mecanismos, mudanças numa terceira via devem apresentar efeitos discretos. Se há uma grande área de inibição do processamento emocional no córtex, p.ex., ela suprimirá os efeitos do sobre-aprendizado negativo pois nenhum processamento emocional se sustentará. Desta vez, com níveis moderados de dois dos três mecanismos, uma ruptura extrema do terceiro fator poderia acarretar falha no processamento de informações. A ruptura de todos os três sistemas conduz a mais fragmentações no mesmo processo.

A aplicação desta técnica serve para o entendimento das diferenças individuais na Depressão e esta técnica de simulação se mostra eficaz para realizar tais inferências. Cabe observar que as Depressões caracterizadas por respostas primárias sustentadas por informações negativas devem primariamente refletir o sobre-aprendizado de algumas situações negativas. As respostas sustentadas a todos os estímulos devem representar uma combinação de sobre-aprendizado e inibição decrescente dos sistemas regulação emocional.

Siegle (2002) recomenda que para o entendimento de um quadro depressivo devam ser mensuradas as funções dos três mecanismos, levando em conta a investigação de fatores ambientais, cognitivos e biológicos. O ambiente é responsável pela exposição às informações negativas, como a lembrança correlata de algum evento negativo em sua história de vida. Capturando este aspecto da Depressão pode-se contemplar o impacto dos eventos negativos na vida de um indivíduo.

O fator cognitivo é relacionado ao grau em que o *feedback* entre unidades afetivas e não afetivas ocorre dentro de uma RNA. Esta característica pode ser traduzida, ainda segundo Siegle, para a avaliação de como muitos indivíduos tendem de ir além de suas informações emocionais pela mensuração de suas ruminções depressivas. Um estudo de Nolen-Hoeksema(1988) também compartilha do mesmo ponto de vista.

O fator biológico pode compreender o grau de inibição das estruturas de processamento emocional que estão inibidas no córtex. A crescente inibição do *feedback* sustenta o processamento de informações na RNA. Investigações neste sentido devem incorporar o exame da atividade cortical em resposta a estes processos de informação (Cuthbert et al, 2000). Estas interações motivam uma abordagem multimodal para avaliações biopsicossociais da Depressão, em busca da individualização do diagnóstico e tratamento.

Em relação às avaliações das diferenças individuais, observando-se quais as combinações dos mecanismos simulados de quadros depressivos produzem rupturas do mecanismo de informação-processamento (relativas a cada indivíduo), podem-se compreender as ocorrências individuais. As mensurações auto-reportadas podem ser usadas para aperfeiçoar suposições iniciais de uma RNA parametrizada.

Siegle e Steinhauer (2002), em um estudo piloto, sugerem que esta metodologia pode permitir a previsão da atividade cerebral baseado na seqüência estímulo por estímulo (*stimulus-by-stimulus*), mais do que uma inferência por regressão linear pode desempenhar. Exemplificando, um terapeuta cognitivo pode desejar saber se uma apresentação patológica de um paciente está contida em uma crença negativa muito forte ou numa rede difusa de cognições defeituosas.

As avaliações devem envolver, ainda segundo Siegle e Steinhauer, o exame de reações fisiológicas do paciente aos estímulos negativos ou a comparação de dados empíricos para modelar quais estímulos sobre-aprendidos serão manipulados. Embora o uso clínico das investigações dos mecanismos de informação-processamento fisiológicos e as tabelas de desempenho de uma RNA ainda estejam em progresso, o raciocínio nestes termos prepara a Ciência Cognitiva para a adição de tais tecnologias, definitivamente, nas inferências em

Transtornos Depressivos, Psicóticos, de Ansiedade, de Personalidade, dentre outros.

Discussão

Baseada em elementos históricos e contemporâneos, esta revisão narrativa buscou estabelecer meios de investigação dos fenômenos psicopatológicos a partir de paradigmas computacionais conexionistas. Tratando-se de uma área de estudos desenvolvida para simular a equivalência entre a cognição humana e o processamento computadorizado, existem naturalmente divergências que tornam a construção de modelos de sistemas naturais um interessante e pouco explorado campo de investigações para os fenômenos psíquicos.

A busca pelas reais possibilidades de aplicação dos métodos motivou um grande número de pesquisadores a criar modelos baseados em RNAs, que em sua essência tentam simular o funcionamento do processamento cognitivo dentro de um ambiente artificial. Distorcer estas cognições também foi uma tendência, compreendendo que para se representar o patológico deva se dominar o normal.

Os limites do cérebro humano, sua capacidade relativa para processar e representar todos os recursos mentais foi a primeira via de análise a ser considerada. Processar informações é uma capacidade inata do cérebro e que conduz a uma complexa rede de aportes e respostas cognitivas. Entende-se que há um limite de processamento para o cérebro, por ser uma estrutura finita e sem caráter evolutivo definido. Assim como existe um processamento biológico definido, há um análogo computacional igualmente delimitado.

Não se pretende comparar a mente humana com uma máquina, mas é inegável que existam semelhanças notáveis. Conforme Chalmers (1999), o fato de que um computador poder estabelecer um processamento refletindo uma estrutura formal, pode-se compreender que o processamento mental ocorre do mesmo modo. Ambos executam padrões generalizados e de organização secundários. Significa, em outros termos, que uma pode representar a outra.

Entretanto, apesar da tese de que as semelhanças entre os mecanismos biológicos e artificiais possam ser notavelmente destacadas quanto à capacidade de processamento, há uma questão relevante a ser considerada. Existe um limite para o cérebro humano? A resposta contempla uma revisão de conceitos e hipóteses que destacam os limites físicos e das conexões neuronais do SNC. Apesar da mente ter uma capacidade de aprendizado, adaptação e processamento ainda não totalmente conhecidos, pode-se antecipar que esta capacidade é finita e tem um curso incerto de evolução. A mensuração destes limites foi, e continua sendo, um desafio à lógica e a transformação destes dados em uma leitura aceitável pela comunidade científica é um excelente argumento para os desenvolvedores da IA.

Miller (1956) e Merkle (1988,1989) estabeleceram, em diferentes épocas, os conceitos da capacidade de armazenamento e operacionalização das funções cerebrais. Calcularam, a partir de dados biofísicos, que o cérebro tem uma “quantidade” máxima de dados a serem processados e que o número de

conexões entre os neurônios é limitado. Concordando-se que não existe uma possibilidade concreta de se aumentar esta fronteira por simples modificação de padrões biológicos, tal observação se mostra pertinente. Mas, ela não é perfeita para argumentar o fato de que, mesmo com o atual desenvolvimento tecnológicos dos computadores, uma máquina não possa representar com exatidão um processamento cognitivo complexo.

O crescimento exponencial da capacidade de processamento de um computador faz com que previsões da superação desses limites abasteçam de otimismo os estudiosos na área da Ciência Cognitiva e da investigação dos fenômenos psicopatológicos. As RNAs são o avanço esperado para vencer estes obstáculos. Apesar dos seres humanos serem capazes de lidar com seus desafios cognitivos cotidianos, a necessidade suplementar de abranger toda a cognição necessária é impossível sem o auxílio de instrumentos. Pretende-se usar a capacidade de processamento de uma máquina como ferramenta acessória a tomada de decisões e reconhecimento de padrões até então impossíveis de serem executados pela mente.

O principal instrumento utilizado para simular o processamento de informações cognitivas e suas implicações é a RNA. Constituindo em construto poderoso para diversas inferências, tais mecanismos buscam no exemplo da arquitetura cerebral o substrato para suas funções. Com capacidade de aprendizado e auto-organização, servem de modo ideal para o propósito da IA.

Cabe argumentar se a lógica de representação dos fenômenos psicopatológicos deva respeitar ditames simbólicos ou conexionistas.

Desde a fundação da Neurocomputação e da apuração de modelos representacionistas, os argumentos científicos foram dominados por uma visão clássica de que a cognição humana era análoga à computação simbólica. Pelo argumento clássico, a informação era representada pelo uso de símbolos, assim como são apresentados os dados em uma memória computacional ou numa folha de papel.

O argumento conexionista, de outro lado, propõe que a informação é representada não simbolicamente em suas conexões, ou pela potência destas, entre as camadas da RNA. Os simbólicos acreditam que a cognição se assemelha a um processamento digital, binário, onde as ligações são produzidas em seqüência, de acordo com instruções de um programa simbólico. Contrapondo, os conexionistas enxergam o processamento mental como dinâmico e com evolução gradual dentro de uma RNA, sendo que cada ativação de unidade depende da força das conexões e na atividade de unidades vizinhas, de acordo com a função ativatória (Dinsmore,1992).

Os pontos de vista destas duas teorias são aparentemente muito divergentes. Entretanto, muitos conexionistas não avaliam seus trabalhos como um desafio à teoria simbólica e consideram alguma correlação com ela.

Consideram que seus trabalhos parecem uma acomodação de um modelo intermediário entre os dois paradigmas. Analisam que as redes cerebrais emulam as funções de um processador simbólico.

De fato, a concepção do que é a mente permite uma aproximação conceitual com o modelo de RNAs, mas é também pode ser considerado como um processador simbólico no mais hierárquico e abstrato nível de descrição. Assim como o papel das pesquisas baseadas nesta relação simbólico-conexionista seria descobrir como as demandas para o processamento simbólico podem ser forjadas por uma RNA, também procedimentos clássicos poderiam ser reduzidos a considerações pertinentes a essa mesma Rede, em uma teoria conciliadora.

Entretanto, um significativo grupo de conexionistas resiste a esse argumento. Defendem veementemente seus argumentos referindo que o processamento simbólico era um elemento imponderável em relação a como a mente funciona. Concordam que a teoria clássica realiza um insuficiente trabalho de justificação para a representação holística dos dados, generalização espontânea, apreciação do contexto e muitas outras características da inteligência humana que são simuladas em modelos conexionistas “puros”.

Representando um dos argumentos favoráveis a supremacia conexionista, pode-se recorrer a um debate filosófico sobre a aplicação dos estudos em

relação à psicologia de senso comum (*folk psychology*). Entenda-se como de senso comum a psicologia derivada de conceitos pouco científicos e/ou tradicionais. Esta abordagem deriva de uma estrutura conceitual que se utiliza de lógica espontânea para entender e prever o comportamento humano. Funciona de um modo linear e previsível, para o qual recorreremos a um exemplo. Sabendo que Antonio (nome aleatório) deseja beber um refrigerante e que ele acredita haver um disponível em seu refrigerador, permite-nos explicar o que foi Antonio fazer em sua cozinha. Tal conhecimento depende basicamente da nossa habilidade em conceber que outras pessoas têm desejos e metas, planos para a sua realização e convicção para orientar estes planos. A idéia que pessoas têm convicções, planos e desejos são facilmente entendidos numa vida normal. Contudo surge uma questão: elas provêm uma descrição confiável do que ocorre e é notado no cérebro?

Os defensores da concepção psicológica de senso comum argumentam que esta teoria é muito boa para ser falsa (Fodor,1988). Lançam mão de outra questão: o que mais pode ser questionado sobre a verdade da teoria que provê um indispensável panorama para negociações exitosas com outras pessoas? De outro lado, defensores de uma lógica de eliminação respondem que a conveniência e o uso disseminado de um esquema conceitual não é argumento para sua veracidade (Churchland,1989).

Antigos astrônomos encontraram a noção de esferas celestiais essencialmente para conduzir sua ciência, mas hoje sabemos que não eram simples esferas celestiais e, sim, planetas e estrelas. Pelo ponto de vista eliminacionista, uma fidelidade ao senso psicológico comum, assim como a fidelidade aos conceitos dos físicos antigos (Aristotelianos), atrasam o desenvolvimento científico, usando argumentos radicais.

A proximidade de argumentos entre os teóricos eliminacionistas e o conexionismo é devido à promessa de prover uma fundamentação conceitual que substitua o senso comum. Há um contexto em que dada uma Rede de *feed-forward*, esta demonstra que tarefas cognitivas simples podem ser realizadas sem o emprego de características que poderiam corresponder a convicções, desejos e planos (Ramsey *et a*, 1991). Com a suposição de que estas Redes são fiéis a como o cérebro funciona, conceitos das consideradas obviedades psíquicas não passariam do que as esferas celestiais dos antigos astrônomos, segundo Ramsey.

Se os modelos conexionistas invalidariam tais conceitos simbólicos da psicologia tradicional, de tal modo, é ainda controverso. Há duas linhas principais de resposta à reivindicação que estes modelos apóiam conclusões eliminacionistas. Uma objeção é de que os modelos utilizados por Ramsey são Redes *feed-forward*, que são muito fracas para explicar algumas das características mais básicas da cognição humana, como a memória de curto

prazo. Ramsey não demonstrou, argumentam os clássicos, que convicções e desejos devam estar ausentes em uma demonstração de Redes adequada à cognição humana. Uma segunda linha de debates desafia a exigência de que características correspondentes a convicções e desejos estejam necessariamente ausentes mesmo nas Redes *feed-forward* como divulgado por Von Eckhart (2001).

A questão é complexa devido à discordância sobre a natureza da psicologia do senso comum. Diversos filósofos tratam as convicções e desejos postulados por ela como estados mentais de conteúdo simbólico. A convicção, p.ex, que exista um refrigerante no refrigerador é um pensamento resultante de um estado mental que contém símbolos correspondentes a refrigerante e refrigerador. Baseado neste ponto de vista, o argumento do senso comum é atrelado fortemente na hipótese do processamento simbólico. Caso os teóricos conexionistas pudessem estabelecer que o processamento cerebral fosse essencialmente não simbólico, conclusões eliminacionistas se seguirão.

Há ainda uma corrente de filósofos que não acreditam que a psicologia de senso comum seja essencialmente simbólica e alguns destes teóricos desafiam a idéia de que mesmo esse senso comum possa ser tratado como uma teoria. Com estas conclusões (ou a falta delas) se torna ainda mais complexo se estabelecer ligações entre as pesquisas conexionistas e a rejeição ao senso comum. Entretanto, os argumentos conexionistas se apresentam mais vigorosos

e passíveis de aplicação prática, com menor taxa de erros e similitude com ambientes artificiais moldados por suas teorias.

Um dos maiores embates entre os defensores de uma IA integrada e seus críticos é sobre a questão semântica. Searle (1980) apresentou argumentos que buscavam vincular um nexos causal para os processos mentais em relação à simulação artificial, sendo que estes processos são atribuídos ao comportamento das partes do cérebro (justificando uma IA fraca), daqueles processos que consideram o cérebro como um computador e a mente o seu programa (sendo esta a IA forte). Segundo o filósofo, a IA fraca equilibra os argumentos entre as abordagens biológicas e o que se sabe sobre o mundo, enquanto a IA forte, criando mentes artificiais estaria condenada ao fracasso, pois nenhum programa de computador seria suficiente para fornecer um sistema inteligível.

Searle apresentou o experimento mental batizado de "quarto chinês", como um contra-exemplo às pretensões dos partidários da IA forte. Um falante de uma língua ocidental, p.ex. a língua portuguesa, é isolado numa sala que contém vários símbolos em mandarim, cujo significado ele desconhece. Disposto numa mesa há um manual em português com regras de como o "lusófono" deve entregar os símbolos corretos, toda vez que determinados cartões, em mandarim, lhe forem mostrados. Assim, observando no manual a correlação entre os sinais recebidos e os enviados, a pessoa dentro da sala induz o destinatário de seus cartões, do lado de fora, falante do mandarim, a acreditar

que ele compreende sua língua. No entanto, o falante do português trancado na sala, na verdade, não entende uma palavra em mandarim. Tudo que ele faz é seguir as instruções contidas no manual.

Em outras palavras, se o manual, em analogia a um programa computacional, não ensina palavra alguma em outra língua ao leitor, então nenhum computador, ao executar um programa, compreende o conteúdo daquilo que está sendo processado. Do mesmo modo que se observa com o personagem na sala, o computador apenas segue as instruções formais para manipular símbolos em uma sintaxe correta, sem compreender seu significado semântico.

Utilizando esta hipótese, Searle atacou a aspiração de que o Teste de Turing fosse satisfatório para atribuir corretamente uma mente às máquinas, pois seu desempenho poderia apenas representar uma imitação formal, sem entendimento do conteúdo da ação. Por oferecer apenas um comportamento sintático formalmente correto, o computador não distingue a semântica, o contexto real de sua atuação ou a intenção de seus estímulos ou respostas.

Contra o conexionismo, Searle diz que as conexões correspondentes às sinapses neurais não simulam as propriedades causais que provocam a sua compreensão, por mais perfeita que seja a emulação do funcionamento do cérebro. Falta-lhes habilidade para produzir estados intencionais. Para Searle, "a mente e o corpo interagem, mas são duas coisas diferentes, visto que os fenômenos mentais são justamente características do cérebro".

Apesar desta polêmica, Searle continuou mantendo sua posição de que bastam apenas dois níveis de explicação -intencional e fisiológico- para entender porque o cérebro realiza estados intencionais. Assim, ele abandona a idéia de que haja um programa de computador entre a mente e o cérebro e com ela a necessidade de um nível de representação simbólica.

A falência da programação clássica para igualar a flexibilidade e eficiência da cognição humana é por sua essência um sintoma da ausência de um paradigma **único** para a Ciência Cognitiva e sua aplicação em modelos artificiais. O que prevalece na prática é o argumento conexionista, a despeito de sérias críticas e argumentos inflamados dos que discordam desta supremacia.

Este debate não é apenas interessante do ponto de vista filosófico, mas plenamente aplicável na investigação dos fenômenos psicopatológicos. Durante o processo de revisão dos conceitos e possibilidades de aplicação das RNAs foi possível o estabelecimento de diálogos, por meio eletrônico, com pesquisadores brasileiros e estrangeiros acerca dos desafios a serem propostos sob a lógica conexionista. Um dos comentários mais interessantes foi feito por Greg Siegle (2006) citado na literatura por diversas vezes e considerado um dos mais produtivos neurocientistas da atualidade, e que escreveu:

“É fácil sucumbir à imprecisão na pesquisa das psicopatologias. As considerações discordantes em relação à origem dos transtornos e o freqüente apelo para o

desenvolvimento de mecanismos hipotéticos que representem comportamentos bizarros, podem conduzir os investigadores dos fenômenos psicopatológicos a um terreno de teorias e dados errôneos. O apelo necessário de pesquisas e tecnologia de modelagens baseadas nos aspectos cognitivos e das Neurociências oferece rigor e bases fisiológicas para as teorias dos transtornos mentais, e assim auxiliam o avanço da especificação e da validação de teorias de causalidade clínica para aproximar nossas intuições terapêuticas. Justificar tais condutas sem prestar atenção na representação conexionista é retroceder: não conseguiríamos comprovar nada”.

A busca de como representar tais modelos foi inspiradora de tecnologias baseadas em RNAs. Os mais diversos mecanismos foram estudados e alguns deles aceitos como representantes ideais da arquitetura cerebral e do seu conseqüente produto psíquico. Estes sistemas baseados na estrutura biológica e funcional do cérebro apresentam distintas qualidades que transformam a investigação dos fenômenos psicopatológicos, assim também como os processos cognitivos, em meios possíveis de estabelecimento de regras. A capacidade em aprender, auto-organizar e generalizar são elementos fundamentais que devem estar incorporados em uma RNA. A integração destes fatores, aliado à capacidade humana de projetar e designar investigações,

tornam possíveis muitas das inferências propostas, mesmo que se para atingir um construto perfeito deva-se errar muitas vezes.

A aplicação de modelos conexionistas para a investigação de fenômenos psicopatológicos e transtornos psiquiátricos diversos é uma estratégia peculiar e de futuro promissor. Entretanto, ainda é necessário um consenso e também deve ser realizada uma análise criteriosa do que se pretende estudar. Nem todos os fenômenos são mensuráveis, nem todos os padrões são contínuos, nem toda doença é igual, assim como cada investigação é única. Os desafios para o estabelecimento de limites entre a pesquisa possível e a aplicável servem como norteador do sucesso em cada investigação. Entender o que se investiga, usando premissas de reconhecimento é indispensável.

Especificar o que se investiga, desenhar uma avaliação, interpretar os padrões nas diferenças individuais e generalizar a partir dos fenômenos não avaliados são necessidades primordiais para quem pretende enveredar por estudos conexionistas. As RNAs devem respeitar estas regras, respeitando o que se quer investigar e o que se pode encontrar. Como no caso dos Transtornos Depressivos, busca-se a compreensão dos reforços cognitivos, da influência de fatores externos e de memórias traumáticas agravando o transtorno. Mesmo que a Rede apenas represente, a princípio, aspectos rudimentares do processamento de informações emocionais, ela deve ser considerada capaz de simular os mecanismos intrínsecos.

Por meio de analogias, a simulação de mecanismos mentais, seus processamentos e suas distorções funcionais se apresentam como excelente meio de correlação entre ambientes mentais e baseados em IA. Realizando paralelos entre ocorrências mensuráveis, como as vistas em fMRI , e de elementos observáveis em ambientes construídos, tais deduções servem como parâmetro de igualdade e de validação das técnicas conexionistas. Espera-se que o compartilhamento de modelos conexionistas, aplicáveis em várias psicopatologias e transtornos, conduza à formação de conclusões integradas para estes fenômenos, principalmente na busca de padrões entre eles.

Podemos propor, no seguimento dos estudos deste tema, que a construção de modelos integrativos pode ser implementada no nosso meio. Em especial às distorções cognitivas nos quadros depressivos, poderemos testar uma hipótese de suficiência experimental dos modelos conexionistas para investigar aspectos peculiares desta patologia, baseado em alterações de grupos neuronais específicos. Utilizando ferramentas de investigação, como p.ex. o Inventário de Beck para Depressão, poderemos estabelecer este paralelo e buscarmos padrões de adoecimento em grupos populacionais específicos, dividido por sexo, idade, estado civil, cor da pele, dentre outras possibilidades.

Esta proposta serve como novo passo de uma linha de investigações em Psiquiatria a ser desenvolvida em nosso meio. São raros os estudos nacionais que tratam deste assunto, até pela complexidade do mesmo e a falta de

igualdade dos argumentos. Mas para se atingir um nível de excelência neste campo, ainda há muito a ser pesquisado e pensado.

Assim como na ciência em geral, o erro faz parte do acerto. Não se pretende, a partir de uma análise precipitada, substituir a tomada de decisões do fazer médico. O que se propõe é complementar este ato, reforçando o aprendizado e reduzindo o erro. A IA serve, conforme discutido nesta revisão, para complementar os limites cognitivos do ser humano, esgotados frente ao volume de demandas possíveis. É preciso apenas respeitar a capacidade de processamento, ainda inatingível, da mente humana em relação às máquinas.

A máquina não pode se emocionar. Este é o mais contundente argumento dos filósofos, teólogos e cientistas, contra o avanço da IA. Com o uso da IA para investigação de fenômenos cognitivos não pretende criar uma máquina que experimente emoções, mas que esta deva buscar o entendimento de como essas emoções, sensações e pensamentos se processam no cérebro. Neste primeiro momento, as propostas de investigação que vem sendo desenvolvidas baseiam-se na análise de mecanismos análogos, com tendência à simulação e repetição. Não se pretende criar novos fenômenos, mas entender suas distorções. Exatamente desta forma foi apresentado por Siegle (2002), no modelo de simulação de uma RNA Conexionista para investigar um quadro depressivo.

A modelagem de sistemas artificiais para representar uma realidade do processamento mental esconde alguns limites, principalmente na habilidade

destes em relatar certas avaliações clínicas. As limitações podem ser detectadas quando defrontadas com o risco de invalidação pela categorização tradicional .(Cook & Campbell,1979).

A validade da conclusão estatística interessa se a alteração em uma variável mensurada é previsivelmente associada com a alteração em outra variante. Os modelos conexionistas teóricos são de complexa avaliação, decorrente da sua característica em ser altamente interativo e da não-linearidade de suas funções, o que torna difícil uma previsão acurada. Entretanto, modelos operados por sistemas informatizados podem gerar grande quantidade de dados simulados, permitindo virtualmente alguma inferência na co-variação dos fatores e resultados.

Os modelos conexionistas computadorizados têm um comportamento peculiar porque representa um comportamento do modelo, sendo este um produto de suposições formalizadas, moldados durante a criação da mesma. A Rede se comporta seguindo regras específicas da sua manipulação prévia. Para o entendimento das interações numa Rede conexionista, o modelador deve examinar as interações dos diferentes parâmetros pela manipulação delas, de modo independente e associado, observando seus efeitos no comportamento do modelo. A natureza de extrema interconectividade das RNAs conexionistas frequentemente provoca interações inesperadas, difíceis de serem previstas.

Como em qualquer tecnologia, essa discussão demonstra que os modelos conexionistas são vulneráveis a sérios desafios para sua validação. Siegle (2002) sugere que os usos mais refinados destas Redes podem ser geradores de um espectro de hipóteses, que se seguiriam de deduções básicas e veículos de testes da consistência das teorias internas. Em resumo, desafios para construção e validação exigem cautela na interpretação dos modelos conexionistas, nos quais os esforços iniciais são recompensados por possibilidades de investigação das expectativas que o modelador pretende generalizar.

Os estudos descritos nesta revisão mostraram-se a viabilidade dos construtos conexionistas aplicados aos modelos biológicos de processamento, em especial ao ambiente mental. Baseado nesta observação, não será surpresa que as distorções cognitivas possam ser representadas com o mesmo mecanismo, usando a lógica conexionista, visando reconhecer padrões e semelhanças entre os aspectos dos diferentes fenômenos e o impacto que isso pode representar em cada indivíduo.

Conclusões

A modelagem de sistemas naturais, por meio de RNAs, tem se mostrado um método eficaz para a investigação e certificação de fenômenos psicopatológicos, assim como para a pesquisa cognitiva, em analogia à mente humana. Os resultados das pesquisas apresentadas, observadas pelos estudos de diversos aspectos destes fenômenos, corroboram a utilidade atual destes mecanismos, assim como apresentam possibilidades concretas de novas investigações. Pelo fato das RNAs Conexionistas emergirem de estruturas matemáticas e com certa hierarquia, assemelha-se ainda mais com a metodologia de construção cognitiva e oferece adequados parâmetros para a certificação de hipóteses sobre a gênese de processos de informação emocional e de como se distorcem as funções normais do cérebro humano.

As possibilidades futuras de aplicação deste método investigativo também são promissoras, aliados ao avanço tecnológico da Neurocomputação e da própria Ciência Cognitiva. Permitem analogias cada vez mais próximas à realidade e a simulação de mecanismos intrínsecos da mente é desvendada à luz da IA. Trata-se, portanto, de uma estratégia concreta para designar uma Ciência Cognitiva integrada aos processos executores de uma mente complexa, impossível de ser entendida apenas por observação simples dos fenômenos.

Referências Bibliográficas

Aakerlund,L, Hemmingnsen,R. (1998) – Neural Network as Models of Psychopathology. *Biol Psychiatry* 43:471-482.

Allen,NB (1998) Comment: neural networks, a new microscope to study psychiatric classification? *The Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*. 32(5):695-7.

Anderson,J.A.(1990) – Hybrid Computation in Cognitive Science: Neural Networks and Symbols. *Applied Cognitive Psychology* 4: 337-347.

Aparício,M., Strong,P.N. (1992) Propagation Controls for True Pavlovian Conditioning]. In: D.S.Levine & S.J.Leven (Eds.), *Motivation, Emotion and Goal Direction in Neural Networks* (pp.3-37). Hillsdale,NJ: Erlbaum.

Arbib, M.A. (1995). Background. In: M.A. Arbib (Ed.) *The handbook of brain theory and neural networks* (pp. 3-25). Cambridge,MA : MIT Press.

Arbib, MA (1995) - *The handbook of Brain Theory and Neural Networks*. Cambridge,MA : MIT Press.

Arbib,MA.(1987) – Neural Networks, In: Arbib,M. (ed.) *Brain, Machines and Mathematics*, Springer Verlag, New York, pp.64-71.

Barch,D.M., Carter,C.S., Braver,T.S., Sabb,F.W., McDonald,A., Noll,D.C. Cohen,J.D. (2001) Selective deficits in prefrontal cortex function in medication naive individuals with schizophrenia. *Archives of General Psychiatry*, 91, 276-292.

Barnden, J. (1995). Artificial Intelligence and Neural Networks. In M.A. Arbib (Ed.), *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks* (pp.98-101). Cambridge,MA: MIT Press.

Berkowitz,L. (1990). On the Formation and Regulation of Anger and Aggression. A Cognitive-neoassociationistic Analysis. *American Psychologist*, 45, 494-503.

Chalmers,D.J. (1999) – A Computational Foundation for The Study of Cognition. In: www.paradox.ucsc.edu em 26 de junho de 2005.

Churchland,P.S. (1989), *A Neurocomputacional Perspective : The Nature of Mind and The Structure of Science*, Cambridge-MA: MIT Press.

Cleeremans, A. (1997). Principles for Implicit Learning. In D. Berry (Ed.), *How implicit is implicit learning?* (pp. 196-234), Oxford: Oxford University Press.

Cohen,J.D. & Servan-Schreiber (1993). A Theory of Dopamine Function and Its Role in Cognitive Deficits in Schizophrenia. *Sscizophrenia Bulletin*, 19, 85-104.

Cohen,J.D. & Servan-Schreiber, D. (1992b) Introduction to Neural Networks Models in Psychiatry. *Psychiatric Annals*,99, 45-77.

Cohen,J.D., Dunbar, K. & McClelland (1990). On the control of automatic processes: A parallel distributed processing account of the Stroop effect. *Psychological Review*, 97. 332-361.

Cohen,J.D.; Servan-Schreiber,D.(1992) – Introduction to Neural Network Models in Psychiatry, *Psychiatric Annals* 22 : 113-118.

Cook,T.D. & Campbell,D.T (1979) Quasi-experimentation: Design and analysis issues for field settings. Boston: Houghton Mifflin.

Cuthbert,B.N.,Schupp,H.T., Bradley,M.M.,Birbaumer,N & Lang,P.J. (2000) Brain potentials in affective pictures processing: Covariation with autonomic arousal and affective report. *Biological Psychology*,52,95-111.

Cybenko,G. (1990) Complexity Theory of Neural Networks and Classification Problems._*Proceedings of the EURASIP Workshop 1990 on Neural Networks*. (pp.26-44) London-UK. Springer-Verlag.

Davidson,R.J. (2000) . Affective style, psychopathology and resilience: Brain mechanisms and plasticity. *American Psychologist*, 55, 1196-1214.

Dinsmore,J.(1992) (Ed.) In: *The symbolic and connectionist paradigms: closing the gap*. (pp. 1-28) Erlbaum Press.

Elman,J.L.(1991), *Distributed Representations, Simple Recurrent Networks and Grammatical Structure*. In; Touretzky : pp. 91-122.

Falman,S.E. & Lebiere,C. (1991) *The cascade-correlation learning architecture* (Tech.Rep. No. CMU-CS-90-100). Pittsburgh,PA: Carnegie Mellon University, Computer Science Department.

Fodor,J. (1988) *Psychosemantics*. Chapter 1, pp.05-06. Cambridge,MA.: MIT Press.

Freeman, J.A.; Skapura, D.M.(1992) - *Neural Networks: Algorithms, Applications and Programming Techniques*. Addison-Wesley Publishing.

Guterl, F. (1996) – Silicon Gambit. Discover, vol. 17, n°6, Junho de 1996.

Hannan, T.J. (2003) – Electronic Medical Records. Health Informatics. Na: Overview. Editado por E.Hovenga, M. Kidd, B. Cesnik. Churchill Livingstone, Austrália.

Hasselmo, M.E. & Wyble, B.P. (1997). Does the Spread of Alzheimer's Disease Neuropathology Involve the Mechanisms of Consolidation? In J.A. Reggia, E. Ruppin & R.S. Berndt (Eds.), *Neural Modelling of Brain and Cognitive Disorders* (pp.43-62). London: World Scientific Publishing.

Hasselmo, M.E., Wyble, B.P., Stern, C.E. (1998) A Model of Human Memory Based on the Cellular Physiology of the Hippocampal Formation. In: R.W. Parks, D.S. Levine & D.L. Long (Eds.), *Fundamentals of Neural Networks Modeling: Neuropsychology and Cognitive Neuroscience* (pp.299-329). Cambridge, MA: MIT Press.

Hebb, D.O (1949) – *The Organization of Behavior*. New York-NY. Wiley.

Hecht-Nielsen, R. (1990) – *Neurocomputing*. Addison-Wesley Publishing Inc., California.

Hecht-Nielsen, R. (1990) *Neurocomputing*. Reading, MA: Addison-Wesley

Hestenes, D. (1998) – Modulatory Mechanisms in Mental Disorders. In: Stein, D. and Ludick, J. (eds.). *Neural Networks and Psychopathology*, pp.347-365. Cambridge: Cambridge University Press.

Hoffman,R.E & McGlashan,T. (1993) Parallel Distributed Processing and The Emergence of Schizophrenic Symptoms. *Schizophrenia Bulletin*, 19. 479-496.

Hoffman,R.E., Rapaport,J., Mazure,C.M. & Quinlan,D.M. (1999) Selective Speech Perception Alterations in Schizophrenia Patients Reporting Hallucinated “Voices”. *American Journal of Psychiatry*, 156. 393-399.

Hopfield,J.J.(1982) – Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities, *Proceedings of The National Academy of Science*, 79 :2554-2558.

Ingram,R.E & Hollon,S.D. (1986) Cognitive therapy in depression from an information processing perspective. In: R. Ingram (Ed.), *Information processing approaches to clinical psychology* (pp. 261-284). New York,NY: Academic Press.

Ingram,R.E. (1984) Toward an information processing analysis of depression. *Cognitive Therapy and Research*, 8, 443-478.

Kail,R. e Bisanz,J. (1992) The information-processing perspective on cognitive development in childhood and adolescence. In: Sternberg,R.J. & Berg,C.A. – *Intellectual Development*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

Kohonen, T. (1988) *Self Organization and Associative Memory (2nd Ed)*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.

Kovács, Z.L.(1997) *Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Aplicações*. Collegium Cognitio, São Paulo-SP.

Kurzweil, R. (2002) – A Wager on the Turing Test: Why I Think I Will Win. In: www.kurzweil.net/articles/art0374.html?printable=1 acessado em 03 de agosto de 2005.

LeDoux, J. (1986) *The emotional brain*. New York, NY: Simon & Schutzer.

Lloyd, D. (1998) The fables of Lucy R.: Association and dissociation in neural networks. In: D. Stein & J. Ludick (Eds.), *Neural networks and psychopathology* (pp. 248-273). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Lloyd, S (2002) – Computational Capacity of The Universe. *Psychical Review Letters*, 88, 237901.

Lock, A.J. (2000) – Phylogenetic Time and Symbol Creation : Where Do Zopeds Come From? *Culture & Psychology*, Vol. 6, No.2, 105-130.

Luciano, J.S. (1996) *Neural Network Modeling of Unipolar Depression: Patterns of Recovery and Prediction of Outcome*. Tese de Doutorado. Universidade de Boston.

Ludik, J. & Stein, D. (1998) Neural Network Modelling of Cognitive Disinhibition and Neurotransmitter Dysfunction in Obsessive-compulsive Disorder. In D. Stein & J. Ludik (Eds.), *Neural Networks and Psychopathology* (pp.231-247). Cambridge-UK: Cambridge University Press.

Lyman, P. e Hal, R.V. (2003) – How Much Information , 2003. In: www.sims.berkeley.edu/how-much-info-2003, acessado em 21 de julho de 2005
McClelland, J., Rumelhart, D. et al., (1986) *Parallel Distributed Processing*, Vol II. Cambridge, MA: MIT Press.

Merkle, R.C. (1988) – How Many Bytes in Human Memory. Foresight Update, 04, Outubro 1988.

Merkle, R.C. (1989)- Energy Limits to the Computational Power of the Human Brain. Foresight Update, 6, agosto 1989.

Miller, G.A. (1956) – The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Informations. *The Psychological Review*, 1956, vol.63, pp.81-97.

Minsky, M. (1967) – *Computation: Finite and Infinite Machines*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

Movellan, J.R. & McClelland (2001). The Morton-Massaro Law of Information Integration: Implications for Models of Perception. *Psychological Review*, 108. 113-148.

Nolen-Hoeksema (1998) Ruminative coping with depression. In: J. Heckhausen & C.S. Dweck (Eds.), *Motivation and self-regulation across the life span* (pp.237-256). New York: Cambridge University Press.

Pinker, S. (1998) – *Como a mente funciona*. Editora Schwarcz Ltda. São Paulo, SP.

Pinker, S., Mehler, J. (1988) *On Language and Connectionism: Analysis of a Parallel Distributed Processing Models of Language Acquisition*, *Cognition* 23(1988) pp.73-193.

Pugh, W.M. (1991) A comparison of multiple regression and a neural network for predicting a medical diagnosis (Report No. (n91-33):21). Washington, DC: US Naval Health Center Research.

Ramsey,W., Stich,S. and Garon,J. (1991) *Connectionism, Eliminativism and The Future of Folk Psychology* In: Philosophy and Connectionist Theory. Ramsey,W.(Ed.) pp.199-228. Hillsdale,NJ.: Erlbaum.

Rumelhart,D.E. ; Hinton,G.E.; Williams, R.J.(1986a) – Learning Internal Representations by Error Propagation, In: Rumelhart,D.E.; McClelland,J.L. & PDP Research Group (eds.), *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, vol. I. The MIT Press, Massachusetts, pp. 318-362.

Rumelhart,D.E.; Hinton, G.E.; McClelland, J.L. (1986b) – A General Framework for Parallel Distributed Processing, In: Rumelhart,D.E.; McClelland,J.L. & PDP Research Group (eds.), *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, vol. I. The MIT Press, Massachusetts, pp. 45-76.

Sarle,W.S. (1994). Neural Networks and Statistical Models. In: *Proceedings of the 19th Annual SAS Users Group International Conference* (pp.1538-1550). Cary, NC: SAS Institute.

Schultz,T.R. & Lepper,M.R. (1996) Cognitive Dissonance Reduction as Constraint Satisfaction. *Psychological Review*. 103. 219-240.

Schwartz,R.M. & Garamoni,G.L. (1989). Cognitive balance and psychopathology : Evaluation of an information processing model of positive and negatives states of mind. *Clinical Psychology Review*, 9. 271-294.

Searle, J. R. (1980) *Mente, Cérebro e Ciência*; Lisboa: Edições 70, 1987.

Sejnowski,T. and Rosenberg,C. (1987), *Parallel networks that Learn to Pronounce English Text*. *Complex Systems*, 1. (pp.145-168).

Shannon, C.E (1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois, Illinois, EUA.

Siegle, G.J. (1999) A neural network model of attention biases in depression. In: J.A. Reggia. E. Ruppin & D.L. Glanzman (Eds.), *Disorders of brain, behavior and cognition: The neurocomputational perspective* (pp.415-441) Amsterdam: Elsevier.

Siegle,G.J. (1998) *Connectionist Models of Cognitive, Affective, Brain and Behavioral Disorders*. Disponível no link www.cbnc.cmu.edu/research , acessado em 13 de julho de 2006.

Siegle,G.J. e Hasselmo,M.E.(2002) “Using Connectionist Models to Guide Assessment of Psychological Disorder” *Psychological Assessment* Vol. 14, no 3, 263-278.

Siegle,G.J., Siegle,G.J., Ingram,R.E., & Matt,G.E. (2002) Affective interference: An explanation for negative information processing biases in dysphoria? *Cognitive Therapy and Research*, 26, 73-88.

Siegle,G.J., Steinhauer,S.R., Thase,M.E., Stenger,V.A. & Carter, C.S.(2002) Can't shake that felling: fMRI assessment of sustained amygdala activity in response to emotional information in depressed individuals. *Biological Psychiatry*,51, 693-707.

Siegle.GJ (2006) Comunicação Pessoal.

Souza, B.C. (2005) A Teoria da Mediação Cognitiva: Os Impactos Cognitivos da Hipercultura e da Mediação Digital. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE.

Spitzer, M.(1998) – The History of Neural Network Research in Psychopathology, In: Stein,D.; Ludick,J. (eds.) *Neural Network and Psychopathology*, The Cambridge University Press, Cambridge, pp. 14-33.

Stinson, C. & Palmer, S. (1991). Parallel Distributed Models of Personal Schemas and Psychopathologies. In: M. Horowitz (ed.), *Person Schemas and Maladaptive Interpersonal Patterns* (pp.339-377). Chicago, IL: University of Chicago Press.

Teasdale, J.D., Cognitive vulnerability to persistent depression. *Cognition and Emotion*, 2, 247-274.

Tryon, W.W. (1993) Neural Networks: I. Theoretical Unification Through Connectionism. *Clinical Psychology Review*, 13, 341-352.

Tryon, W.W. (1999) A bidirectional associative memory explanation of posttraumatic stress disorder. *Clinical Psychology Review*, 19, 789-818.

Vernon, P.A., Wickett, J.C., Bazana, P.G. e Stelmack, R.M. (2000) – The Neuropsychology and Psychophysiology of Human Intelligence. In: Sternberg, R.J. – Handbook of Intelligence. Cambridge University Press. New York, NY.

Von Eckhart, B. (2001) *Connectionism and the Propositional Attitudes* In: C. Erneling and D. Johnson (Eds.), *The Mind as a Scientific Object: Between Brain and Culture*, New York, NY: Oxford University Press.

Ward, M. (1997) – End of the road for brain evolution. *New Scientist*, vol. 153, pp.14.

Wells,A. (2000) *Emotional disorders and metacognition: Innovative cognitive therapy*. New York, NY: Wiley.

White, N. (2003) – Cognitive Enhancement : An Everyday Event? – *International Journal of Psychology*, vol.33, n. 2, pp-95-105.

Williams,J.M.G., Mathews,A. & MacLeod,C. (1996) The emotional stroop task and psychopathology. *Psychological Bulletin*, 120. 3-24.

Wolfram,S.(2000) – *A New Kind of Science*. New York-NY:Wolfram Media.