

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

CRIATIVIDADE: UMA ARQUITETURA COGNITIVA

Bruno Carvalho Castro Souza

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Santa Catarina como
requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Engenharia de Produção

Florianópolis
2001

Bruno Carvalho Castro Souza

CRIATIVIDADE: UMA ARQUITETURA COGNITIVA

Esta dissertação foi julgada aprovada para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção** no **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção** da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 29 de junho de 2001.

Prof. Alejandro Martins Rodriguez, Dr.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Alejandro Martins Rodriguez, Dr.
Orientador

Prof^a. Regina F. F. de A. Bolzan, Msc.
Tutora

Prof. Francisco Antônio Pereira Fialho, Dr.

Prof. Samir Suaiden, Dr.

Prof^a. Sandra Regina R. e Oliveira, Dra.

Agradecimentos

À Prof^ª Regina Bolzan, pela paciência, apoio e liberdade oferecida na elaboração deste trabalho,

Ao Prof. Samir Suaiden, pelos conselhos e sabedoria,

À Prof^ª Ludmila Guimarães, pela amizade e comprometimento,

À direção da UNEB, que deu condições e incentivou as pesquisas,

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção,

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Criatividade é um labirinto em que o difícil não é encontrar a saída, mas sim a entrada”.

Ruben Fonseca

SUMÁRIO

	<i>Página</i>
Lista de figuras	vii
Lista de quadros	viii
Lista de reduções	ix
Resumo	x
Abstract	xi
1 Introdução	3
1.1 Problema.....	5
1.2 Hipótese.....	6
1.2.1 Hipótese básica.....	6
1.2.2 Hipóteses secundárias.....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo geral.....	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 Metodologia.....	7
2 Apresentação	9
3 Criatividade: O Estado da Arte	11
3.1 Evolução histórica da criatividade.....	13
3.1.1 Teorias filosóficas da criatividade.....	13
3.1.2 Teorias psicológicas.....	16
3.1.3 Análise fatorial.....	20
3.1.4 Criatividade e o papel dos hemisférios cerebrais.....	24
3.1.5 As inteligências múltiplas	25
3.2 Psicologia cognitiva.....	27
3.2.1 Percepção e representação	30
3.3 Laske e a conciliação da inteligência artificial e da criatividade.....	31
4 Uma Arquitetura para a Criatividade	34
4.1 A construção de soluções por meio do erro	37
4.2 Arquiteturas criativas para solução de problemas	39
4.3 Criatividade e inteligência artificial.....	45
5 Domínios Naturais e Cognição Artificial.....	48
5.1 Representacionismo, Nova Robótica e Escola Chilena: as abordagens cognitivas.....	48
5.2 As metáforas do pensamento: redes, categorias e domínios.....	55
5.2.1 As redes hipertextuais de Lévy.....	55
5.2.2 A teoria de categorias e protótipos de Berlin, Kay e Rosch.....	57
5.3 Implementação de domínios cognitivos em sistemas digitais.....	62

6	Protótipo: Elementos para a Construção de um Sistema Criativo Artificial de Aprendizagem	69
6.1	Escopo do protótipo	69
6.2	Ergonomia e a função pedagógica de um protótipo.....	70
6.2.1	Estratégias cognitivas para o aprendizado	70
6.2.2	Fatores emocionais	74
6.2.3	Fatores motivacionais.....	77
6.2.4	Fatores sensoriais	78
6.2.5	Fatores intelectuais.....	79
6.2.6	A interface e o ambiente virtualizado	81
6.3	Implementação: uma revisão de alguns modelos de inteligência artificial.....	84
6.3.1	Raciocínio baseado em casos (Case-based reasoning - CBR)	85
6.3.2	Redes neuronais	86
6.3.3	Algoritmos genéticos e programação evolucionária	88
6.3.4	Integração e camadas.....	90
6.4	Estratégias para a formação de domínios.....	93
7	Conclusões e recomendações.....	99
7.1	Síntese da pesquisa.....	99
7.2	Comprovação da hipótese e consecução dos objetivos	101
7.3	Implicações da pesquisa	103
7.3.1	Educacionais.....	103
7.3.2	Empresariais	104
7.3.3	Científicas e computacionais.....	105
7.4	Trabalhos Futuros.....	105
	Fontes Bibliográficas	107
	Glossário.....	122

LISTA DE FIGURAS

<i>Número</i>		<i>Página</i>
Figura 1:	Arquitetura cognitiva segundo Jean-François Richard.....	28
Figura 2:	Mecanismo de equilibração de Piaget.....	37
Figura 3:	Mecanismo de equilibração majorante de Piaget.....	38
Figura 4:	Modelo cognitivo da criatividade.....	40
Figura 5:	Dinâmica da criatividade.....	43
Figura 6:	Representação da máquina de estado finito.....	51
Figura 7:	Implementação de um sistema de inteligência artificial baseado em camadas.....	65
Figura 8:	O comportamentalismo como programa de pesquisa científica.....	72
Figura 9:	O processamento de informações como programa de investigação científica.....	73
Figura 10:	A interação dos fatores nos espaços de aprendizagem.....	81
Figura 11:	Diagrama de camadas para implementação do modelo.....	92
Figura 12:	Duas maneiras de representar as redes de vinculações de Heylighen.....	96

LISTA DE QUADROS

<i>Número</i>	<i>Página</i>
Quadro 1: As categorias de pensamento conforme Guilford.....	21
Quadro 2: Fatores do pensamento divergente segundo Guilford.....	22
Quadro 3: Resultado da interação de duas ou mais matrizes segundo Koestler	23
Quadro 4: As inteligências múltiplas de Howard Gardner	26
Quadro 5: Simulação dos processos mentais em sistemas computacionais através da arquitetura sugerida.....	66
Quadro 6: Paralelo entre o cérebro humano e os sistemas computacionais.....	67

LISTA DE REDUÇÕES

Siglas

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBR = Raciocínio Baseado em Casos

GA = Algoritmos Genéticos

IA = Inteligência Artificial

MIT = Massachusetts Institute of Technology

PE = Programação Evolucionária

RESUMO

SOUZA, Bruno Carvalho Castro. *Criatividade: uma arquitetura cognitiva*. 2001. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, UFSC, Florianópolis.

A partir de uma visão histórica e de uma análise contextual, a criatividade é entendida como ferramenta para a resolução de problemas complexos. Com base nessa definição, nas pesquisas da ciência cognitiva e nas técnicas de inteligência artificial, é proposta uma arquitetura cognitiva da criatividade, integrando os conceitos de domínio, campos de problemas, universo cognitivo e emoções. Como referenciais teóricos dessa arquitetura, são analisadas em profundidade as aplicações das teorias de categorias e protótipos, de Berlin, Kay e Rosch, e de redes hipertextuais de Lévy, como possibilidades no entendimento da estruturação de domínios, alinhadas às pesquisas da nova robótica e da teoria da autopoieses na busca de um sistema artificial auto-organizado. Finalmente, são sugeridas direções na formalização da arquitetura e na sua implementação como um protótipo de sistema inteligente e criativo baseado no trânsito interdomínios como forma de solução criativa de problemas.

Palavras-chave: criatividade, cognição, inteligência artificial, domínios cognitivos

ABSTRACT

SOUZA, Bruno Carvalho Castro. *Creativity: a cognitive approach*. 2001. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, UFSC, Florianópolis.

Creativity is discussed from a historical point of view, based on a contextual analysis, and understood as tool for complex-problem resolution. Supported by this definition, by the research of cognitive science and by artificial intelligence techniques, a cognitive architecture of creativity is proposed, integrating the concepts of domain, problem fields, cognitive universe and emotions. For the theoretical foundations of that architecture, the applications of categories and prototypes theories of Berlin, Kay and Rosch, and Lévy's hipertextuals networks are analyzed in depth, as solid tools in the understanding of domains structuring, in conjunction with new robotics research and the autopoieses theory in the search of a self-organized artificial system. Finally, directions are suggested in the formal methods of the architecture and its implementation as a prototype of intelligent and creative system based on the inter-domains relations as a method of creative problem-solution.

Keywords: creativity, cognition, artificial intelligence, cognitive domains

1 INTRODUÇÃO

Em determinada ocasião, um professor pediu à turma que fizesse um projeto final de disciplina. O tema era livre, assim como os meios que deveriam ser utilizados para alcançar o resultado desejado. A partir desse tema central de escolha do aluno, dever-se-iam desenvolver três subtemas e, para cada um, cinquenta formas diferentes de abordá-lo. Tratava-se da disciplina "Direção de Arte" do curso de Comunicação Social com habilitação em Publicidade e Propaganda da Universidade de Brasília. A grande surpresa foi a expressão dos alunos quando o professor terminou de explicar o trabalho. Pareciam horrorizados, sem saber o que fazer ou por que aquilo estava sendo exigido deles. Apesar de, durante todo o semestre letivo, haverem desenvolvido trabalhos extensos, estavam apavorados com a liberdade que lhes havia sido conferida. Não sabiam por onde começar. Não tinham sequer uma vaga idéia sobre o que fazer nem sobre qual tema abordar.

Essa experiência evidencia um dos maiores problemas educacionais do País: a falta de familiaridade com o processo criativo por parte dos estudantes de todos os níveis. Desde os primeiros passos na escola, o aluno aprende a repetir conceitos e verdades ditos “universais”, mas raramente é-lhe oferecida a oportunidade de participar criativamente no desenvolvimento desses conceitos. É a escola do “saber pronto”, e não do saber construído. Em termos de criatividade, Alencar (1993) é quem melhor coloca a questão: “Observa-se a existência de uma série de idéias errôneas a seu respeito, como, por exemplo, a idéia de que a criatividade é uma característica inata, não podendo, portanto, ser ensinada ou aprendida. O

aluno mais criativo não é reconhecido na escola, nem tampouco tem recebido uma atenção maior por parte dos seus professores”¹.

A falta de imaginação vem desaguar no meio acadêmico, que forma especialista em áreas estanque. Os universitários sofrem dessa carência de visualizar respostas criativas para os problemas, optando quase que invariavelmente por soluções consagradas - clássicas - em detrimento do caminho da experimentação e da ousadia.

*“Poucas oportunidades tem o aluno para investigar problemas reais e de interesse concreto. Não se desenvolve no aluno um maior número de habilidades para explorar um problema novo que o conduzam à sua compreensão e solução.”*²

Essa mistificação da criatividade traz conseqüências diretas para a sociedade. A própria história da humanidade está repleta de exemplos da importância da criatividade³ no processo da investigação científica. Einstein foi inspirado por sua imaginação quando, aos nove anos de idade, perguntou-se como seria viajar ao lado de um raio de luz. Isaac Newton teve seus questionamentos condensados e a súbita “inspiração” que gerou a Teoria Universal da Gravitação quando viu uma maçã cair da macieira e, criativamente, associou o fato com a idéia de que massa atrai massa. Gutenberg associou o processo de fabricação de vinhos com a prensa de porcelana chinesa para inventar a prensa de tipos móveis, que deu origem à imprensa. E esses são apenas alguns exemplos ilustres de um fenômeno que ocorre diariamente, com todas as pessoas.

¹ ALENCAR, Eunice M. L. S. *Criatividade*. Brasília: Edunb, 1993, p. 85.

² ALENCAR, Eunice M. L. S. *Criatividade*. Brasília: Edunb, 1993, p. 86.

³ Entende-se criatividade como definida por Torrance (1965): "Criatividade é o processo de tornar-se sensível a problemas, deficiências, lacunas no conhecimento, desarmonia; identificar a dificuldade; buscar soluções, formulando hipóteses a respeito das deficiências; testar e retestar estas hipóteses; e, finalmente, comunicar os resultados".

No mundo atual, onde a informação é a chave para a sobrevivência de praticamente todas as empresas, a necessidade de criatividade apresenta-se de forma ainda mais urgente. Com os recursos tecnológicos atuais, praticamente todas as pessoas têm acesso a qualquer informação, por intermédio da Internet, dos jornais, dos telefones e da mídia em geral. O que contribui de forma diferenciada para o sucesso ou o fracasso empresarial é o que se faz com essas informações. Novamente, a criatividade é necessária para melhor entendimento dessa informação. Visualizar e utilizar uma informação diferentemente do concorrente pode significar lucros para a empresa.

Criatividade é privilégio de seres humanos. Não há máquina no mundo que possa pensar criativamente. Mesmo o fantástico computador *Deep Blue*, que derrotou Kasparov, campeão mundial de xadrez, não possui pensamento criativo - apenas uma capacidade imensa de combinar matematicamente opções pré-definidas para alcançar um objetivo previamente determinado. Esse computador é incapaz de, no decorrer da partida, tomar uma iniciativa que fuja da sua programação. E, mesmo que fosse, isso só seria possível porque, pelo ser humano, foi programado para tanto. A própria IBM acredita nessa idéia: seu *slogan*, em meados da década de 70, era “machines should work, people should think” (*máquinas devem trabalhar, pessoas devem pensar*).

1.1 Problema

A criatividade foi analisada sob várias perspectivas, mas nenhuma das abordagens utilizou conceitos cognitivos objetivando a construção de um modelo para a criação. A capacidade de raciocínio humano, embora amplamente estudada pelos cognitivistas, é representada por modelos que enfocam o processo de forma sistêmica, enfatizando mecanismos de raciocínio

geral. A descrição dos processos e fatores referentes à criatividade propriamente dita encontra-se diluída nos modelos gerais, sem uma análise detalhada e uma dinâmica própria claramente definida. Como, portanto, pode ser a criatividade entendida a partir dos recursos mentais inerentes ao ser humano e de que forma esse entendimento pode ser transformado em um modelo? Da mesma maneira, como seria a transposição para um sistema de inteligência artificial que possibilite a exploração desse modelo?

Essa dissertação tem seu foco na descrição dos processos mentais envolvidos na criatividade, ligando-os, em algumas ocasiões, com ferramentas e técnicas de inteligência artificial que oferecem condições de implementá-los. A construção de um protótipo será abordada de forma geral, objetivando dar condições teóricas para sua posterior implementação.

1.2 Hipótese

1.2.1 Hipótese básica

A ciência cognitiva fornece subsídios para a elaboração de um modelo da criatividade. Tal modelo permite melhor exploração e entendimento dos processos envolvidos no pensamento criativo, e pode ser implementado em uma arquitetura de inteligência artificial para testar e aperfeiçoar as abordagens teóricas e experimentais da criatividade.

1.2.2 Hipóteses secundárias

- O emprego dos conceitos cognitivos de domínios, categorias e protótipos forma o arcabouço teórico necessário para a construção do modelo da criatividade.

- Com base no modelo proposto e no uso combinado de algumas técnicas de inteligência artificial, têm-se as ferramentas necessárias para implementar uma arquitetura da criatividade em sistemas computacionais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Elaborar um modelo teórico da criatividade, com base nos conceitos da ciência cognitiva, passível de aplicação em sistemas computacionais que permitam ampliar o entendimento sobre a criatividade.

1.3.2 Objetivos específicos

- Descrever os processos cognitivos relacionados à criação como metodologia de solução de problemas.
- Esclarecer a formação de domínios cognitivos com referência à criatividade.
- Delinear uma arquitetura computacional para a construção de um protótipo que permita explorar as potencialidades do modelo proposto.

1.4 Metodologia

A pesquisa bibliográfica oferece as ferramentas conceituais para a construção do modelo cognitivo para a criatividade. Essa pesquisa foi feita levando em consideração os estudos da ciência cognitiva, em especial as pesquisas sobre:

- a) os pressupostos construtivistas da cognição segundo Piaget;

- b) a teoria de categorias e protótipos de Kay, Berlin e Rosch;
- c) as redes hipertextuais de Pierre Lévy.

Os estudos para a delineação de implementação do protótipo foram feitos tendo-se por base:

- a) a estruturação de domínios por meio de técnicas de inteligência artificial, especialmente as redes neuronais, o raciocínio baseado em casos e os algoritmos genéticos;
- b) a implementação de redes de vinculações de Heylighen.

O foco principal da pesquisa é a estruturação de domínios cognitivos e o acesso ao conhecimento. Para o desenvolvimento dos conceitos e a elaboração do modelo, foi utilizada uma abordagem *top-down*: partiu-se de uma formulação da visão geral do processo criativo, conforme os estudos cognitivos de Piaget. Essa visão geral permitiu a visualização da criatividade como um processo dinâmico e a identificação dos principais agentes envolvidos nesse processo, dando origem à proposta de uma arquitetura cognitiva da criatividade. A partir dessa arquitetura, foram estudados os pressupostos teóricos de Kay, Berlin e Rosch na formação de categorias e protótipos, que deram origem ao conceito de domínio cognitivo no âmbito do presente trabalho. Uma vez definidos os mecanismos de formação dos domínios, as redes hipertextuais de Lévy possibilitaram o entendimento de uma dinâmica de relacionamento entre os domínios, que torna viável os processos criativos. A implementação do modelo por meio de um protótipo é sugerida para a confirmação das hipóteses e o aperfeiçoamento do modelo.

2 APRESENTAÇÃO

A construção teórica necessária para o entendimento desta dissertação acontece de forma gradual, acompanhando o nível de complexidade de cada tema. Definições são apresentadas à medida que se mostrem necessárias, e são reapropriadas conforme o contexto.

Inicialmente discute-se o estado da arte na criatividade. São introduzidas as principais teorias que tentam explicar a capacidade de criação humana e sua evolução histórica. Destaca-se o ponto de ruptura entre a abordagem empírica e a cognitiva, em que a criação passa a ser encarada como parte do próprio raciocínio, bem como as limitações dessa visão no entendimento da criatividade.

Os principais mecanismos cognitivos de Piaget são visitados em seguida, dando origem a uma proposta de arquitetura cognitiva para a criatividade, passível de implementação em sistemas de inteligência artificial.

As definições de domínios naturais, sob a perspectiva lingüística, e de cognição são aprofundadas na seqüência da pesquisa, oferecendo subsídios para a intuição de uma possível cognição artificial. São detalhadas as implicações dos conceitos de redes hipertextuais, de categorias e de domínios, bem como suas repercussões na implementação de sistemas de inteligência artificial.

A implementação de um protótipo como ferramenta de teste, de validação e de aperfeiçoamento da arquitetura da criatividade é também discutida, com ênfase nas suas funções ergonômicas, nas técnicas de inteligência artificial que mais parecem promissoras e na construção de um sistema de domínios artificiais autopoietico como base para um

repertório de conhecimentos. Embora não seja feita uma descrição formal do protótipo e da sua implementação, são oferecidas indicações de como fazê-lo.

Para a conclusão, são indicados caminhos e áreas a serem mais bem exploradas, possibilidades de expansão da pesquisa e aplicações em outros setores, notadamente o educacional, o empresarial e o científico.

3 CRIATIVIDADE: O ESTADO DA ARTE

A questão da criatividade vem sendo discutida há muito tempo. Há várias definições, algumas levando em consideração os aspectos sociais, outras, os psicológicos, e, recentemente, algumas tentativas para conceituar a criação têm surgido das ciências cognitivas.

Para Ghiselin (1952), criatividade é “o processo de mudança, de desenvolvimento, de evolução, na organização da vida subjetiva”⁴. Fliegler (1959) *apud* Kneller (1978) declara que “manipulamos símbolos ou objetos externos para produzir um evento incomum para nós ou para nosso meio”. Suchman (1981), Stein (1974), Anderson (1965), Torrance (1965) e Amabile (1983), *apud* Alencar (1993), citam várias definições, respectivamente⁵:

- “o termo pensamento criativo tem duas características fundamentais, a saber: é autônomo e é dirigido para a produção de uma nova forma.”
- “criatividade é o processo que resulta em um produto novo, que é aceito como útil, e/ou satisfatório por um número significativo de pessoas em algum ponto no tempo.”
- “criatividade representa a emergência de algo único e original.”
- “criatividade é o processo de tornar-se sensível a problemas, deficiências, lacunas no conhecimento, desarmonia; identificar a dificuldade, buscar soluções, formulando hipóteses a respeito das deficiências; testar e retestar estas hipóteses; e, finalmente, comunicar os resultados.”

⁴ GHISELIN, Brewster. *The creative process*. Berkeley: University of California Press, 1952, p. 2.

⁵ ALENCAR, Eunice M. L. Soriano de. *Criatividade*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993, p. 13.

- “um produto ou resposta serão julgados como criativos na extensão em que a) são novos e apropriados, úteis ou de valor para uma tarefa e b) a tarefa é heurística e não algorítmica.”

Cave (1999) vê a criatividade como a tradução dos talentos humanos para uma realidade exterior que seja nova e útil, dentro de um contexto individual, social e cultural⁶. Essa tradução pode-se fazer, basicamente, de duas formas. A primeira é a habilidade de recombinar objetos já existentes em maneiras diferentes para novos propósitos. A segunda, “brincar” com a forma com que as coisas estão inter-relacionadas. Em ambos os casos, considera a criatividade como uma habilidade para gerar novidade e, com isso, idéias e soluções úteis para resolver os problemas e desafios do dia-a-dia.

Kneller (1978) identifica quatro dimensões da criatividade:

“As definições corretas de criatividade pertencem a quatro categorias, ao que parece. Ela pode ser considerada do ponto de vista da pessoa que cria, isto é, em termos de fisiologia e temperamento, inclusive atitudes pessoais, hábitos e valores. Pode também ser explicada por meio dos processos mentais – motivação, percepção, aprendizado, pensamento e comunicação – que o ato de criar mobiliza. Uma terceira definição focaliza influências ambientais e culturais. Finalmente, a criatividade pode ser entendida em função de seus produtos, como teorias, invenções, pinturas, esculturas e poemas.”⁷

Alencar, por sua vez, identifica duas dimensões que parecem permear a noção de criatividade:

⁶ CAVE, Charles. *Creativity web*. Disponível em: <<http://members.ozemail.com.au/~caveman/Creative/>>.

⁷ KNELLER, George Frederick. *Arte e ciência da criatividade*. 17 ed. São Paulo: Ibrasa, 1978, p. 15.

*“(...) pode-se notar que uma das principais dimensões presentes nas mais diversas definições de criatividade propostas até o momento diz respeito ao fato de que criatividade implica emergência de um produto novo, seja uma idéia ou invenção original, seja a reelaboração e aperfeiçoamento de produtos ou idéias já existentes. Também presente em muitas das definições propostas é o fator relevância, ou seja, não basta que a resposta seja nova; é também necessário que ela seja apropriada a uma dada situação.”*⁸

Para compreender melhor o contexto e a variedade das definições, é interessante uma análise histórica das teorias da criatividade. A interpretação do que é criativo, bem como a explicação do ato propriamente dito, acontece sempre em um contexto que percebe fatores sociais, culturais e tecnológicos. A história permeia, portanto, a evolução do conceito de criatividade e a sua realização como ato individual.

3.1 Evolução histórica da criatividade

Os métodos para abordar a criatividade estiveram sempre ligados às doutrinas filosóficas e científicas de sua época. Assim, a explicação da criação atravessou diferentes pontos de vista, desde o enfoque filosófico, nos tempos antigos, até o recente cognitivismo. Não havendo ainda teoria universalmente aceita para a criatividade, são apresentadas várias visões, na busca de um entendimento amplo sobre o assunto.

3.1.1 Teorias filosóficas da criatividade

O contexto histórico da Antigüidade Clássica utilizou-se do pensamento filosófico para entender a criação. Essas teorias tinham como sustentação a atividade mental aplicada ao

⁸ ALENCAR, Eunice M. L. Soriano de. *Criatividade*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993, p. 15.

entendimento do mundo como este era concebido. Perduraram até o surgimento do método científico quando, gradualmente, a criatividade começa a possuir fundamentações mais sólidas e verificáveis.

3.1.1.1 Criatividade como inspiração divina

Segundo Hallman (1964) *apud* Kneller (1978), uma das mais velhas concepções da criatividade é a sua origem divina. A melhor expressão dessa crença é creditada a Platão:

*“E por essa razão Deus arrebatava o espírito desses homens (poetas) e usa-os como seus ministros, da mesma forma que com os adivinhos e videntes, a fim de que os que os ouvem saibam que não são eles que proferem as palavras de tanto valor quando se encontram fora de si, mas que é o próprio Deus que fala e se dirige por meio deles.”*⁹

Essa concepção ainda encontra defesa, por exemplo, em Maritain (1953): o poder criativo depende do “reconhecimento da existência de um inconsciente, ou melhor, preconsciente espiritual, de que davam conta Platão e os sábios, e cujo abandono em favor do inconsciente freudiano apenas é sinal da estupidez de nosso tempo”¹⁰.

3.1.1.2 Criatividade como loucura

Também creditada à Antigüidade, esta explicação concebe a criatividade como forma de loucura, dada a sua aparente espontaneidade e sua irracionalidade. Platão, novamente, parece haver visto pouca diferença entre a visitação divina e o frenesi da loucura. Durante o século

⁹ Platão *apud* KNELLER, George Frederick. *Arte e ciência da criatividade*. 17 ed. São Paulo: Ibrasa, 1978, p. 32.

¹⁰ MARITAIN, Jack. *Creative intuition in art and poetry*. New York: Pantheon Books, 1953, p. 91.

XIX, Lombroso (1891) alegou que a natureza irracional ou involuntária da arte criadora deve ser explicada patologicamente¹¹.

3.1.1.3 Criatividade como gênio intuitivo

Esta explicação deve suas origens à noção do gênio, surgida no fim do Renascimento, para explicar a capacidade criativa de Da Vinci, Vasari, Telésio e Michelângelo. Durante o século XVIII, muitos pensadores associaram criatividade e genialidade. Kant *apud* Kneller “entendeu ser a criatividade um processo natural, que criava as suas próprias regras; também sustentou que uma obra de criação obedece a leis próprias, imprevisíveis; e daí concluiu que a criatividade não pode ser ensinada formalmente”¹². Além de gênio, essa teoria identifica a criação como uma forma saudável e altamente desenvolvida da intuição, tornando o criador uma pessoa rara e diferente. É a capacidade de intuir direta e naturalmente o que outras pessoas só podem apurar divagando longamente que caracteriza essa teoria.

3.1.1.4 Criatividade como força vital

Reflexo da teoria da evolução de Darwin, a criatividade foi considerada como manifestação de uma força inerente à vida. Assim, a matéria inanimada não é criadora, uma vez que sempre produziu as mesmas entidades, como átomos e estrelas, enquanto a matéria orgânica é fundamentalmente criadora, pois está sempre gerando novas espécies. Um dos

¹¹ LOMBROSO, Cesare. *The man of genius*. Londres: Walter Scott, 1891.

¹² KNELLER, George Frederick. *Arte e ciência da criatividade*. 17 ed. São Paulo: Ibrasa, 1978, p. 35.

principais expoentes dessa idéia é Sinnott (1962), quando afirma que a vida é criativa porque se organiza e regula a si mesma e porque está continuamente originando novidades¹³.

3.1.2 Teorias psicológicas

A partir do século XIX, criação passou a receber um tratamento mais científico, proporcionado pelo desenvolvimento da Psicologia. As principais contribuições foram o associacionismo, a teoria da Gestalt e a psicanálise. Essas contribuições seriam uma das bases para a formação dos conceitos modernos de criatividade.

3.1.2.1 Associacionismo

As raízes do associacionismo remontam a John Locke, no século XIX. Parte do princípio de que:

“o pensamento consiste em associar idéias, derivadas da experiência, segundo as leis da freqüência, da recência e da vivacidade. Quanto mais freqüentemente, recentemente e vividamente relacionadas duas idéias, mais provável se torna que, ao apresentar-se uma delas à mente, a outra a acompanhe.”

Essa abordagem diz que, para se criar o novo, se parte do velho, em um processo de tentativa e erro, por meio da combinação de idéias até que seja encontrado um arranjo que resolva a situação. Há algumas críticas contundentes a essa teoria, como coloca Kneller:

“Difícilmente, entretanto, o associacionismo se adapta aos fatos conhecidos da criatividade. Pensamento novo significa que se retiraram do contexto idéias anteriores e se combinaram elas para

¹³ SINNOT, Edmund. Creative imagination: man's unique distinction. **The graduate journal**, University of Texas, Spring, 1962, p. 194-210, *apud* KNELLER, George Frederick. *Arte e ciência da criatividade*. 17 ed. São Paulo: Ibrasa, 1978, p. 36.

*formar pensamento original. Tal pensamento ignora conexões estabelecidas e cria as suas próprias. Não seria fácil atribuir as idéias de uma criação criativa a conexões entre idéias derivadas de experiência pregressa, uma vez numa criança relativamente incriativa experiências semelhantes podem deixar de produzir uma única idéia original. Na verdade, seria de esperar que a confiança nas associações passadas produzisse, em lugar de originalidade, respostas comuns e previsíveis.”*¹⁴

3.1.2.2 Teoria da *Gestalt*

Wertheimer (1945) *apud* Kneller (1978) afirma que o pensamento criador é uma reconstrução de *gestalts* estruturalmente deficientes. A criação tem seu início com uma configuração problemática, que, de certa forma, se mostra incompleta, porém permite ao criador uma visão sistêmica da situação. A partir das dinâmicas, das forças e das tensões do próprio problema, são estabelecidas linhas de tensão semelhantes na mente do criador. Para “fechar” a *gestalt*, deve-se restaurar a harmonia do todo. Nas palavras do próprio Wertheimer, “o processo todo é uma linha consciente de pensamento. Não é uma adição de operações díspares, agregadas. Nenhum passo é arbitrário, de função conhecida. Pelo contrário, cada um deles é dado com visão de toda a situação.”¹⁵

A teoria da *gestalt* não explica como surge a configuração inicial, mesmo que problemática, a partir da qual o criador começa a desenvolver seu trabalho. É, portanto, incapaz de explicar a capacidade de fazer perguntas originais, não sugeridas diretamente pelos fatos a sua disposição. Entretanto, para resolver a *gestalt*, é necessária uma reorganização do campo perceptual, o que sugere a relação existente entre percepção e pensamento.

¹⁴ KNELLER, George Frederick. *Arte e ciência da criatividade*. 17 ed. São Paulo: Ibrasa, 1978, p. 39.

¹⁵ WERTHEIMER, Max. *Productive thinking*. New York: Harper and Row, 1945, p. 42 *apud* KNELLER, George Frederick. *Arte e ciência da criatividade*. 17 ed. São Paulo: Ibrasa, 1978, p. 40-41.

3.1.2.3 Teoria psicanalítica

Para Freud *apud* Alencar (1993), a criatividade está relacionada à imaginação, que estaria presente nas brincadeiras e nos jogos da infância. Nessas ocasiões, a criança produz um mundo imaginário, com o qual interage rearranjando os componentes desse mundo de novas maneiras. Da mesma forma, o indivíduo criativo na vida adulta comporta-se de maneira semelhante, fantasiando sobre um mundo imaginário, que, porém, discrimina da realidade. As forças motivadoras de tais fantasias seriam os desejos não satisfeitos, e cada fantasia, a correção de uma realidade insatisfatória. Essa característica de sublimação estaria vinculada, portanto, à necessidade de gratificação sexual ou de outros impulsos reprimidos, levando o indivíduo a canalizar suas fantasias para outras realidades.

Freud *apud* Kneller (1978) coloca a criatividade como resultado de um conflito no inconsciente (*id*). Este, mais cedo ou mais tarde, produz uma solução para o conflito, que pode ser “ego-sintônica”, resultando em um comportamento criador, ou à revelia do ego, originando uma neurose. De qualquer forma, Freud deixa claro que a criação é sempre impelida pelo inconsciente.

Um aspecto importante na visão psicanalítica é a função do ego sobre as pressões do inconsciente:

“No doente mental, o ego tende a ser tão estrito que barra todos, ou praticamente todos os impulsos inconscientes, ou tão fraco que é freqüentemente posto de lado. Essa pessoa exerce excessivo ou deficiente controle; seu comportamento é altamente estereotipado e intelectualizado, ou espontâneo e estranho. Se o comportamento se alterna entre tais extremos, nunca se integra como o de alguém mentalmente sã. É sempre rígido e habitual o comportamento produzido apenas pelo ego, sem influência do inconsciente criador. (...) Por outro lado, sempre que os impulsos criadores

contornam inteiramente o ego, seus produtos, como nos sonhos e nas alucinações, podem ser altamente originais, mas sem muita relação com a realidade. Sua criatividade é inútil (...).”¹⁶

3.1.2.4 Psicologia humanista

Surgiu como uma forma de protesto à imagem limitada do ser humano imposta pela psicanálise. Seus principais representantes são Maslow, Rollo May e Carl Rogers, e suas principais ênfases são o valor intrínseco do indivíduo, que é considerado como fim em si mesmo; o potencial humano para desenvolver-se; e as diferenças individuais.

Rogers (1959, 1962) *apud* Alencar (1993) considera que a criatividade é a tendência do homem para atualizar-se e concretizar suas potencialidades. Para isso, deveria

“(...) possuir três características:

- *abertura à experiência, a qual implica ausência de rigidez, uma tolerância à ambigüidade e permeabilidade maior aos conceitos, opiniões, percepções e hipóteses;*
- *habilidade para viver o momento presente, com o máximo de adaptabilidade, organização contínua do self e da personalidade;*
- *confiança no organismo como um meio de alcançar o comportamento mais satisfatório em cada momento existencial.”¹⁷*

Rogers, portanto, enfatiza a relação do sujeito com o meio e a sua própria individualidade, acreditando na originalidade e na singularidade.

¹⁶ KNELLER, George Frederick. *Arte e ciência da criatividade*. 17 ed. São Paulo: Ibrasa, 1978, p. 42.

¹⁷ ALENCAR, Eunice M. L. Soriano de. *Criatividade*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993, p. 50.

Maslow (1967, 1969) *apud* Alencar (1993) possui posição similar, considerando a abertura à experiência como uma característica da criatividade auto-realizadora. Já Rollo May (1976) identifica a criatividade como saúde emocional e expressão das pessoas normais no ato de se auto-realizar. Como os demais humanistas, considera a interação pessoa-ambiente como fundamental para a criação. Assim, não basta apenas o impulso em auto-realizar-se: “também as condições presentes na sociedade, a qual deve possibilitar à pessoa liberdade de escolha e ação”¹⁸, fazem parte do processo criativo.

3.1.3 Análise fatorial

3.1.3.1 O pensamento divergente

Segundo Guilford¹⁹, a mente abrange 120 fatores ou capacidades diferentes – dos quais 50 são conhecidos –, formando duas classes principais: capacidades de memória e capacidades de pensamentos. As capacidades de pensamentos são divididas em categorias, espécies e fatores, conforme o quadro a seguir:

¹⁸ ALENCAR, Eunice M. L. Soriano de. *Criatividade*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993, p. 53.

¹⁹ Conforme citado por Alencar, os pontos de vista de Guilford encontram-se em três obras principais: *Creativity*. **The American Psychologist**, 1950, p. 444-454; *Personality*. New York: McGraw-Hill, 1959; e, com P. R. Merrifield, *The structure of intellect model: its uses and implications*. University Park, California: University of Southern California Press, 1960.

Quadro 1: As categorias de pensamento conforme Guilford

Categoria	Descrição
Cognitivas	Reconhecimento de informações.
Produtivas	Uso de informações.
Avaliativas	Julgamento daquilo que é reconhecido ou produzido em função da adequação às exigências.

A fatoração de Guilford ainda determina uma segunda divisão para as categorias produtivas, identificando duas espécies de pensamentos: o convergente e o divergente. O pensamento convergente move-se em direção a uma resposta determinada ou convencional, a partir de um sistema de regras previamente conhecido. Já o divergente tende a ocorrer quando o problema ainda não é conhecido ou quando não existe ainda método definido para resolvê-lo. A criatividade, portanto, estaria grandemente localizada no pensamento divergente, que abrange onze fatores, apresentados no quadro 2.

Quadro 2: Fatores do pensamento divergente segundo Guilford

Fatores	Descrição
Fluência vocabular	Capacidade de produzir rapidamente palavras que preencham exigências simbólicas especificadas.
Fluência ideativa	Capacidade de trazer à tona muitas idéias numa situação relativamente livre de restrições, em que não é importante a qualidade da resposta.
Flexibilidade semântica espontânea	Capacidade ou disposição de produzir idéias variadas, quando livre o indivíduo para assim proceder.
Flexibilidade figurativa espontânea	Tendência para perceber rápidas alternâncias em figuras visualmente percebidas.
Fluência associativa	Capacidade de produzir palavras a partir de uma restrita área de significado.
Fluência expressionista	Capacidade de abandonar uma organização de linhas percebida para ver outra.
Flexibilidade simbólica adaptativa	Capacidade de, quando se trata com material simbólico, reestruturar um problema ou uma situação, quando necessário.
Originalidade	Capacidade ou disposição de produzir respostas raras, inteligentes e remotamente associadas.
Elaboração	Capacidade de fornecer pormenores para completar um dado esboço ou esqueleto de alguma forma.
Redefinição simbólica	Capacidade de reorganizar unidades em termos das respectivas propriedades simbólicas, dando novos usos aos elementos.
Redefinição semântica	Capacidade de alterar a função de um objeto ou parte dele, usando depois de maneira diversa.
Sensibilidade a problemas	Capacidade de reconhecer que existe um problema.

De todos os fatores apresentados, diversos autores – especialmente os cognitivistas – consideram o último como o mais importante para a criatividade.

3.1.3.2 Koestler e a bissociação

Koestler (1964) *apud* Kneller (1978) apresenta uma teoria da criatividade que tenta integrar todas as suas expressões – ciência, arte e humor. Sua fundamentação lança recursos da psicologia, da neurologia, da fisiologia, da genética e diversas ciências na proposição de um

padrão comum – a bissociação –, que consiste na conexão de níveis de experiência ou sistemas de referências. Koestler argumenta que, no pensamento comum, a pessoa segue rotineiramente em um mesmo plano de experiências, enquanto, no criador, pensa simultaneamente em mais de um sistema de referências.

A formação de tais planos de experiências pressupõe a existência de estruturas de pensamentos e de comportamentos já adquiridos, que dão coerência e estabilidade, mas deixam pouco espaço para a inovação. Todo padrão de pensamento ou de comportamento (que Koestler chamou de “matriz”) é regido por um conjunto de normas (ou “código”), que tanto pode ser aprendido quanto inato. Esse código possui uma certa flexibilidade e pode reagir a algumas circunstâncias.

A explosão criadora ocorre quando duas ou mais matrizes independentes interagem entre si. O resultado, segundo Koestler, pode-se apresentar de três formas (ver quadro 3).

Quadro 3: Resultado da interação de duas ou mais matrizes segundo Koestler

Tipo de interação	Resultado	Explicação
Colisão	Humor	É a interseção de duas matrizes, cada qual consistente por si mesma, porém em conflito com a outra. No decorrer da bissociação, emoção e pensamento separam-se abruptamente. Esse conflito causa uma tensão emocional e resolve-se em riso.
Fusão	Ciência	A criação surge do encontro de duas matrizes até então desprovidas de relação. Trata-se de uma convergência de pensamentos em direção a um objetivo previamente estipulado – as matrizes fundem-se em uma nova síntese.
Confrontação	Arte	As matrizes não se fundem nem colidem, mas ficam justapostas. Os padrões fundamentais de experiência são expressos novamente a cada novo olhar, em cada época ou cultura. Há uma transposição dos sistemas de referências.

Koestler vai ainda mais longe, ao relacionar a criatividade a todas as formas de padrões existentes:

*“Segundo Koestler, a criatividade manifestada na ciência, na arte e no humor tem análogos em todos os níveis da hierarquia orgânica, desde o mais simples organismo unicelular até o maior dos gênios humanos. (...) Todo padrão de pensamento, ou ação, organizado – toda matriz, afinal – é governada por um código de regras, sem deixar de possuir entretanto um certo grau de flexibilidade em sua adaptação às condições do meio ambiente.”*²⁰

3.1.4 Criatividade e o papel dos hemisférios cerebrais

Segundo Katz (1978), as pessoas criativas discriminam dois aspectos: um relacionado a como o problema que está sendo trabalhado é subitamente percebido sob um novo ângulo e outro referente à elaboração, confirmação e comunicação da idéia original. Identificam-se, portanto, dois padrões de pensamento distintos – um deles capaz de reestruturar conceitos, e ou outro, de avaliá-los. Segundo autores como Torrance (1965), tais pensamentos ocorreriam em partes distintas do cérebro: o primeiro no hemisfério direito, e o segundo, no esquerdo. Nas palavras de Alencar (1993),

*“o que tem sido proposto é que cada hemisfério cerebral teria sua especialidade: o esquerdo seria mais eficiente nos processos de pensamento descrito como verbais, lógicos e analíticos, enquanto o hemisfério direito seria especializado em padrões de pensamento que enfatizam percepção, síntese e o rearranjo geral de idéias.”*²¹

²⁰ KNELLER, George Frederick. *Arte e ciência da criatividade*. 17 ed. São Paulo: Ibrasa, 1978, p. 58.

²¹ ALENCAR, Eunice M. L. Soriano de. *Criatividade*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993, p. 53.

Para a criatividade musical e artística, o hemisfério direito seria especialmente importante, facilitando o uso de metáforas, intuição e outros processos geralmente relacionados à criação. Há que se considerar, entretanto, o papel fundamental do hemisfério esquerdo em avaliar a adequação do que foi intuído – se a idéia atende aos requisitos da situação. Portanto, é delicado afirmar que a criatividade “reside” em um ou em outro hemisfério.

3.1.5 As inteligências múltiplas

A teoria das inteligências múltiplas trata das potencialidades humanas. Seu autor, Howard Gardner (1995), observando que a inteligência possuía maior abrangência, concebeu sua teoria como uma explicação da cognição humana que pode ser submetida a testes empíricos e definiu inteligência como “a capacidade de resolver problemas ou de elaborar produtos que sejam valorizados em um ou mais ambientes comunitários.”²² Essa definição, propositadamente, aproxima-se muito do que Gardner (1982) considera a própria essência da criatividade²³.

As informações preliminares da pesquisa foram sistematizadas em sete inteligências: lingüística ou verbal, lógico-matemática, espacial, musical, corporal-cinestésica, interpessoal e intrapessoal. Recentemente, foi incluída a inteligência naturalística, e encontra-se em consideração a inclusão da inteligência espiritual. O quadro seguinte descreve a natureza de cada inteligência.

²² GARDNER, Howard. *Inteligências múltiplas: a teoria na prática*. Trad. Maria Adriana Veríssimo Veronese. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.

²³ GARDNER, Howard. *Arte, mente e cérebro: uma abordagem cognitiva da criatividade*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1999.

Quadro 4: As inteligências múltiplas de Howard Gardner

Inteligência	Características
Lingüística ou verbal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Habilidade de expressão; ▪ facilidade para se comunicar; ▪ aprecia a leitura; ▪ possui amplo vocabulário; ▪ competência para debates; ▪ transmite informações complexas com facilidade; ▪ absorve informações verbais rapidamente.
Lógico-matemática	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Facilidade para detalhes e análises; ▪ sistemáticas no pensamento e no comportamento; ▪ prefere abordar os problemas por etapas (passo a passo); ▪ discernimento de padrões e relações entre objetos e números.
Espacial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sua percepção do mundo é multi-dimensional; ▪ facilidade para distinguir objetos no espaço; ▪ bom senso de orientação; ▪ prefere a linguagem visual à verbal.
Musical	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bom senso de ritmo; ▪ identificação com sons e instrumentos musicais; ▪ a música evoca emoções e imagens; ▪ boa memória musical.
Corporal-cinestésica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Boa mobilidade física; ▪ prefere aprender “fazendo”; ▪ prefere trabalhos manuais; ▪ facilidade para atividades como dança e esportes corporais.
Interpessoal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Facilidade para comunicação; ▪ aprecia a companhia de outras pessoas; ▪ prefere esportes em equipe.
Intrapessoal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reflexiva e introspectiva; ▪ capaz de pensamentos independentes; ▪ autodesenvolvimento e auto-realização.
Naturalística	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Confortável com os elementos da natureza; ▪ bom entendimento de funções biológicas; ▪ interesse em questões como a origem do universo, evolução da vida e preservação da saúde.

Curiosamente, Gardner não inclui uma “inteligência criativa” em sua lista. Isso deve-se à sua crença de que a criatividade permeia todo pensamento humano. Nas palavras de Moran (1994):

*“O conhecimento precisa da ação coordenada de todos os sentidos – caminhos externos – combinando o tato (o toque, a comunicação corporal), o movimento (os vários ritmos), o ver (os vários olhares) e o ouvir (os vários sons). Os sentidos agem complementarmente, como superposição de significantes, combinando e reforçando significados.”*²⁴

3.2 Psicologia cognitiva

Esse breve histórico das teorias da criatividade tem a função de introduzir a abordagem cognitiva do pensamento, proposta, entre outros, por Jean-François Richard *apud* Fialho (1999)²⁵, que permite entendimento *processual* das atividades mentais que geram a resposta criadora.

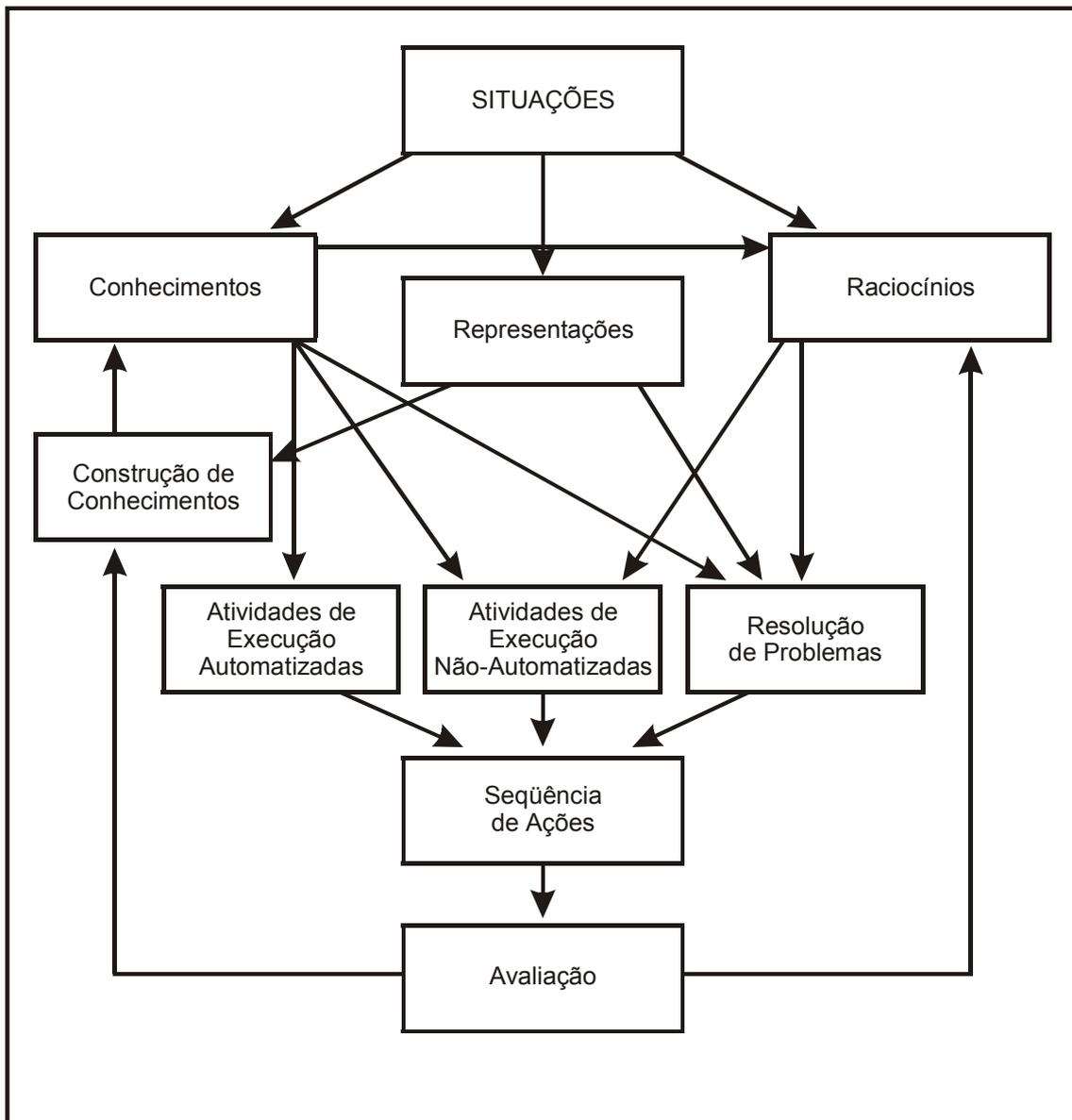
Para a psicologia cognitiva, a cognição é entendida como um processo disparado por uma *situação*, compreendida pelos mecanismos perceptivos do cérebro. Tal situação é uma perturbação interna²⁶ ao indivíduo, possivelmente fruto de uma ressonância causada por algum fator externo. O fenômeno, como um todo, pode ser visualizado conforme a figura a seguir.

²⁴ MORAN, José Manuel. Interferências dos meios de comunicação no nosso conhecimento. **Revista Brasileira de Comunicação**, São Paulo, v. XVII, n.2, Julho/Dezembro de 1994.

²⁵ FIALHO, Francisco. *Uma introdução à engenharia do conhecimento*. Florianópolis: UFSC, 1999 (apostila).

²⁶ O conceito de perturbação interna é apresentado por Maturana e Varela como pertencente a uma entidade autopoietica, ou seja, a um sistema fechado ao meio externo. Para esses cientistas, o ser humano é uma entidade autopoietica. Quando ocorre uma perturbação interna, o indivíduo entra em um estado de desequilíbrio e se abre ao meio externo, buscando recuperar a sua harmonia em um movimento que Piaget chamou de *equilíbrio majorante*, pois parte do pressuposto que todo processo de mudança é construtivo.

Figura 1: Arquitetura cognitiva segundo Jean-François Richard



Fonte: FIALHO, Francisco. *Uma introdução à engenharia do conhecimento*. Florianópolis: UFSC, 1999 (apostila).

Os conhecimentos são todo o repertório de representações armazenadas na memória de longo termo, tanto em nível de conhecimentos específicos quanto de conhecimentos abstratos (morais, culturais, genéricos).

Toda situação, para ser compreendida, deve ser representada pelo indivíduo. Portanto, pode-se dizer que a representação é a construção de um “modelo de similaridade” para o mundo, com base na experiência de vida e na varredura feita na memória em busca de situações análogas.

Caso não seja possível representar adequadamente a situação, o indivíduo irá recorrer aos seus processos de raciocínio, buscando construir a representação para a situação a fim de poder compreendê-la. Isso é o que acontece na resolução de problemas.

Qualquer que seja o caminho percorrido, a situação conduzirá a mente a produzir: a) atividades de execução automatizadas, que acontecem quando a situação é conhecida e bem representada, a ponto de poder ser executada sem atenção consciente; b) atividades de execução não automatizadas, quando a representação da situação é recém-elaborada ou não é comum e, portanto, requer um esforço consciente para a execução das tarefas necessárias; e c) solução de problemas, quando não há uma representação satisfatória para a situação.

A relação entre conhecimentos, representações e raciocínios é tal que um complementa o outro. Em outras palavras, os conhecimentos existentes podem ser reforçados ou refutados conforme surjam novas representações de situações, construídas por instrução (por meio de representações “prontas” de acontecimentos) ou por descoberta (solução de problemas práticos, por “tentativa e erro”).

Quando construímos a representação de uma nova situação e a armazenamos na nossa memória, estamos construindo conhecimentos. Quando, no entanto, essa representação é fruto de um problema, elaboramos uma seqüência de ações que, após uma avaliação, pode-se transformar em conhecimento (“verdadeiro”, caso a avaliação seja positiva em relação à situação, ou “falso”, caso seja negativa).

Existe também a função de regulação, que é desempenhada durante todo o processo, e tem como um dos principais agentes as emoções. A regulação é responsável pela ordenação de prioridades, elaboração da seqüência de ações necessárias e pelas decisões de abandono, reforço ou continuação da tarefa.

Finalmente, é necessária uma estrutura de controle, que consiste em determinar os meios necessários e em cuidar do desenvolvimento da tarefa. O controle está localizado em três momentos específicos: a) quando construímos a representação da situação; b) quando elaboramos a seqüência de ações em função da situação; e c) na avaliação do resultado das ações. No momento (a), questionamos a validade da representação em função da situação existente. Em (b), verificamos se as ações previstas têm probabilidade de atingir o resultado esperado e, em função dessa análise, podemos alterar as tarefas (função de regulação). Em (c), questionamos o resultado das ações tomadas, levando em consideração a situação inicial e o produto final esperado.

3.2.1 Percepção e representação

O conhecimento do mundo é baseado em representações de situações vivenciadas, reforçadas ou refutadas por repetição de situações análogas. A aquisição de tais representações é fruto do sistema sensitivo que equipa a espécie humana, compreendendo a visão, a audição, o tato, o paladar e o olfato. Esses sentidos formam o prisma pelo qual o mundo é percebido e são construções próprias e exclusivas de cada pessoa. A ótica pela qual determinada situação é representada depende da bagagem cognitiva e evidencia maneiras diferentes para atuar como resposta às perturbações internas que cada pessoa sofre.

A montagem das representações passa necessariamente por mecanismos de assimilação da realidade – visão, tato, olfato, audição e paladar. Por meio deles, o cérebro monta esquemas que buscam explicar a realidade e “enquadrar” o mundo de forma coerente. Cada novo esquema pode reforçar um esquema anterior, sedimentando o conhecimento; gerar um novo conhecimento quando se depara com uma situação original; ou refutar fatos conhecidos quando a solução para um problema mostra-se ineficaz na situação atual. São nesses casos que a pessoa demonstra poder criativo, buscando respostas que eram inexistentes ou inadequadas. Representar, para os cognitivistas, significa compreender uma situação. E a forma como cada problema é compreendido constitui fator fundamental para a sua solução.

3.3 Laske e a conciliação da inteligência artificial e da criatividade

Laske (1993) considera a criatividade como “um artefato lingüístico feito para facilitar a síntese de observações e de hipóteses sobre a habilidade dos seres humanos de validar suas experiências ou mesmo de transcender a si mesmos”²⁷. A partir desse conceito, constrói uma visão da criatividade sustentada em uma abordagem dialética entre crença e *performance*. A crença é um conceito emprestado das ciências sociais, que parte do princípio de que a criatividade está presente *a priori* na espécie humana, e os esforços da ciência devem ser no sentido de demonstrá-la. A *performance*, por outro lado, deriva da abordagem computacional da criação e procura descobrir como produzir criatividade a partir da formalização dos processos mentais e sua implementação em sistemas de inteligência artificial.

²⁷ LASKE, Otto E. Creativity: where should we look for it?. **Artificial intelligence & creativity: papers from the 1993 spring symposium: technical report SS-93-01**. California (USA): AAAI Press, 1993, p. 19.

Os dois enfoques, entretanto, têm convivido em conflito. A abordagem social não consegue descrever os processos da criatividade; e a computacional força uma redefinição do conceito de domínio. A conciliação dessas duas abordagens permite a construção e a validação de modelos que podem vir a demonstrar e explicar como a criatividade ocorre e funciona – abordam, portanto, a linha social e a computacional.

Para essa conciliação, Laske considera a mente-crença como “uma relação triangular entre um indivíduo (Pessoa), um Domínio de competência, e um grupo social de juízes chamados Campo, que monitoram revoluções dentro da estrutura de conhecimentos do Domínio”²⁸. Já a mente-performance é “baseada em um modelo intersubjetivo verificável dos processos psicológicos da mente humana individual”²⁹, ou seja, formada por processos lógico-matemáticos que podem ser formalizados. Acontece que a mente-performance é também uma mente social, uma vez que o modelo dos processos psicológicos é intersubjetivo. De fato, a mente-performance pode ser considerada uma parte da mente-crença.

A contribuição da inteligência artificial para a criatividade é a possibilidade de formalização do Domínio, criando um espaço de conceitos mentais que permite a interação de minidomínios em que interações pessoa-computador e procedimentos podem ser observados e analisados. Trata-se, portanto, de uma ferramenta de estudo dos processos mentais que pode, simultaneamente, gerar criatividade (*performance*) e descrever seu funcionamento (crença). Essa relação também permite a aplicação do modelo a situações do tipo “solução de problemas”, uma vez que possibilita que “novos *insights* que chegam através

²⁸ LASKE, Otto E. Creativity: where should we look for it?. **Artificial intelligence & creativity: papers from the 1993 spring symposium: technical report SS-93-01**. California (USA): AAAI Press, 1993, p. 23.

²⁹ Seiffert *apud* LASKE, Otto E. Creativity: where should we look for it?. **Artificial intelligence & creativity: papers from the 1993 spring symposium: technical report SS-93-01**. California (USA): AAAI Press, 1993, p. 24.

da interação Pessoa-Domínio possam ser diretamente alimentados no Domínio na forma de bases de conhecimento estendidas e refinadas”³⁰.

Como se pode observar, o panorama da criatividade permite várias leituras: o pensamento filosófico, com suas incursões na metafísica e na criatividade como força inerente ao próprio universo; a abordagem psicológica e suas tentativas de relacionar a capacidade do inconsciente à solução de conflitos; a análise fatorial, com sua “departamentalização” das capacidades mentais e a bissociação; os hemisférios cerebrais e a especialização do pensamento; as inteligências múltiplas, com uma nova visão do próprio conceito de inteligência; a psicologia cognitiva, com a interdisciplinaridade e a compreensão do pensamento como capacidade adaptativa do ser humano; e as possibilidades de conciliação da criatividade com a inteligência artificial. Essa visão abrangente torna-se importante para contextualizar e melhor definir o escopo da pesquisa, especialmente quando se consideram a amplitude do tema e as diversas possibilidades de sua abordagem. De todas as perspectivas apresentadas, a psicologia cognitiva, aliada a ferramentas de inteligência artificial, é a que melhor se enquadra na consecução dos objetivos propostos para o presente trabalho. Partindo-se desse princípio, a próxima seção apresenta um modelo cognitivo para a criatividade humana, identificando sua competência com a solução de problemas complexos.

³⁰ LASKE, Otto E. Creativity: where should we look for it?. **Artificial intelligence & creativity: papers from the 1993 spring symposium: technical report SS-93-01**. California (USA): AAAI Press, 1993, p. 25.

4 UMA ARQUITETURA PARA A CRIATIVIDADE

A criatividade, para ciências aplicadas como a Administração, a Engenharia, a Publicidade e o *Marketing*, identifica-se com a resolução de problemas não triviais. Um problema não trivial é aquele no qual não são óbvios, de início, nem a solução nem os meios para alcançá-la (Kim, 1990). Sua abordagem, portanto, é elusiva ao sujeito do problema.

Tradicionalmente, o processo de criação para a resolução de tais problemas envolve quatro fases identificáveis: preparação, incubação, inspiração e verificação (Wallas *apud* Kneller, 1978).

A fase de preparação consiste na coleta de informações sobre o problema a ser resolvido, incluindo pesquisas, leituras, anotações, indagações, explorações – enfim, um esforço consciente (no sentido psicanalítico) de busca da solução. Após um período de preparação sem resultados concretos (ou seja, sem a solução do problema), o indivíduo entra na fase de incubação, na qual processos mentais inconscientes são acionados para trabalhar. O inconsciente, “desimpedido pelo intelecto literal, faz as inesperadas conexões que constituem a essência da criação”³¹. Essa “essência da criação” é identificada como a fase de inspiração: acontece quando a idéia surge na mente, de forma pronta – trata-se da solução pura e genial para o problema. Essa solução, no entanto, deve ainda ser testada para se verificar a sua validade em termos práticos, e é este o objeto da fase de verificação.

Embora diversos cientistas, pensadores, profissionais e pessoas em geral tenham identificado, nos próprios atos criativos, de forma individual e sem qualquer pesquisa ou referenciamento anterior, o mesmo “roteiro”, em nenhum momento é explicado o porquê

³¹ KNELLER, George Frederick. *Arte e ciência da criatividade*. 17 ed. São Paulo: Ibrasa, 1978, p. 67.

dele acontecer dessa exata maneira. Observam-se os efeitos, e cada pessoa, a sua própria maneira, infere um princípio para a criação individual, sem observar as causas. O processo é indutivo, no sentido aristotélico, utilizando uma abordagem do tipo “top-down”³². No entanto, o que se busca é o sentido oposto: o que causa o comportamento criativo – em outras palavras, quais e como os componentes semânticos e o universo cognitivo de cada indivíduo contribuem para o pensamento criativo. Trata-se, nesse caso, de uma abordagem *botton-up*³³.

Um primeiro passo nesse sentido seria identificar e categorizar o problema conforme sua relevância – problemas mais “urgentes”, sob a perspectiva do indivíduo, exercem mais pressão para sua solução, enquanto problemas irrelevantes são costumeiramente postergados ou ignorados. Uma vez identificado o problema, podemos delimitar um campo inicial de atuação – ou um espaço de pesquisa de soluções do problema. Em problemas triviais e, pela definição apresentada, não criativos, a solução surgirá neste primeiro espaço de pesquisas. No entanto, em problemas que requerem a criatividade, a resposta não será encontrada tão facilmente, resultando o espaço inicial em respostas inaceitáveis (“erros”).

O campo de problema caracteriza-se pelas associações mentais disparadas por proximidade semântica relativa ao assunto abordado. Por exemplo, um problema na área de Física poderá abranger conceitos relacionados a Matemática, a Engenharia, a Química, a Computação e a própria Física, mas normalmente não abrangerá noções pertencentes as

³² A abordagem “top-down” tenta explicar um fenômeno a partir dos seus efeitos visíveis, ou seja, parte do “todo” para deduzir os componentes que constroem esse todo e as suas funções individuais.

³³ Ao contrário da análise científica do tipo “top-down”, a abordagem “botton-up” tenta explicar como um determinado fenômeno pode ser entendido baseado nos seus componentes.

Artes, a Administração ou a Economia, por exemplo³⁴. Outro fator que compõe o campo de problema constitui-se nas experiências vividas pelo sujeito. Sabe-se que grande parte do aprendizado humano é decorrente dessas experiências e que decisões referentes a situações encontradas no dia-a-dia são fortemente influenciadas por tais vivências³⁵.

Em um problema não trivial, a resposta pode não estar ligada diretamente ao campo inicial do problema. Nesse caso, os esforços em busca da solução serão constantemente frustrados, resultando em respostas inadequadas à situação que originou o problema³⁶. A cada nova tentativa, o cérebro efetiva alterações nos parâmetros do campo (regulações) e busca modificar as diversas variáveis que compõem o problema e alcançar resultados satisfatórios.

Na realidade, esse processo é identificado por Piaget como mecanismo de equilibração³⁷:

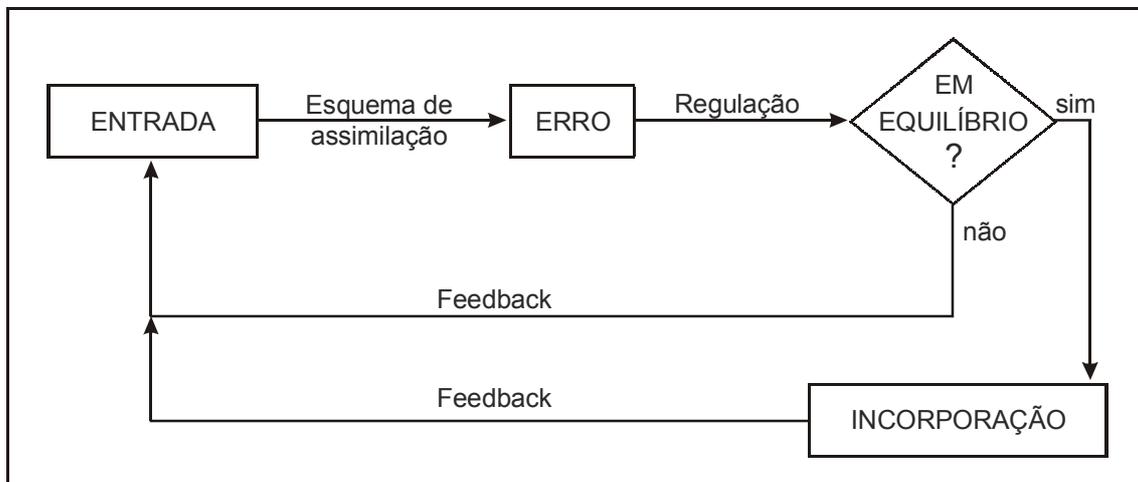
³⁴ Essa noção baseia-se no conceito de rede hipertextual proposto por Lévy, onde o acionamento de nós específicos dentro da malha semântica é feito por proximidade – conceitos próximos, como Física e Matemática, tendem a acionar regiões próximas na rede neuronal (princípio da topologia das redes hipertextuais). LÉVY, Pierre *in* *As Tecnologias da inteligência*. Ed. 34: Rio de Janeiro, 1993, p. 26.

³⁵ Este conceito de aprendizagem forma a base de uma das principais abordagens nas pesquisas de inteligência artificial: o raciocínio baseado em casos.

³⁶ Para Piaget, não existem respostas inadequadas, sendo a construção de qualquer resposta parte da construção de um sistema de estruturas mentais avançadas em constante desenvolvimento. Neste artigo, entendemos “respostas inadequadas” no sentido prático da solução de problemas.

³⁷ MONTANGERO, Jacques e Naville, D. Maurice *in* *Piaget ou a inteligência em evolução*. Artes Médicas: Porto Alegre, 1999, p. 151.

Figura 2: Mecanismo de equilibração de Piaget



Essa abordagem do processo de criação explica por que os criadores experimentam momentos de angústia e ansiedade quando envolvidos na solução de problemas complexos: tais emoções são causadas pelas tentativas frustradas do cérebro de atingir o estado de equilíbrio. Como as emoções são importantes instrumentos de regulação nos processos cerebrais³⁸, quanto maior sua pressão (ou seja, quanto maior a angústia e a ansiedade provocadas pelas falhas do cérebro em atingir um novo estado de equilíbrio) mais urgente o problema se torna. Outra conclusão instigante é que a criação se desenvolve baseada no “erro” da arquitetura humana cognitiva em se adaptar a problemas complexos.

4.1 A construção de soluções por meio do erro

Piaget afirma que o crescimento mental humano é “uma passagem contínua de um estado de menor equilíbrio a um estado de equilíbrio superior”³⁹. Quando o cérebro se

³⁸ A emoção é considerada “como uma função de avaliação contínua dos estímulos internos e externos, em função da importância que eles se revestem para o organismo, e da reação que eles provocam necessariamente” (Sherer 1984).

³⁹ PIAGET, Jean in *Le développement mental chez l'enfant*, Juventus Helvetica: notre jeune génération, 2, p. 123.

depara com um problema, entra em desequilíbrio. Em se tratando de um problema não-trivial, portanto criativo, o espaço de pesquisa inicial pode não ser suficiente para a sua solução, causando um impasse: todas as estratégias conhecidas para obter uma resposta foram utilizadas sem resultados. Como consequência, o mecanismo cerebral precisa expandir o espaço de pesquisa. Tal expansão abre novas possibilidades de exploração, forçando a ligação (inclusive fisiológica, envolvendo a formação de conexões neuronais) de conceitos não relacionados inicialmente. Nesse momento, começa a acontecer a estruturação (no sentido piagetiano) de novos conhecimentos, obtendo-se como resultado final um novo e ampliado espaço de pesquisa. Esse processo de ampliação e reestruturação continua até que se obtenha uma solução satisfatória para o problema ou que os aspectos emocionais intervenham no controle do processo, forçando a sua interrupção⁴⁰.

Uma vez atingida uma solução satisfatória para o problema, o processo mental e o espaço de pesquisa utilizados são incorporados de forma definitiva na memória de longo termo do indivíduo e passam a constituir seu escopo de experiências vividas e ampliam seu universo cognitivo. Nesse momento, pode-se dizer que foi atingido um novo estado de equilíbrio, superior ao que existia antes do problema, formando o que Piaget define como “equilíbrio majorante do tipo beta” (ver figura 3).

Figura 3: Mecanismo de equilíbrio majorante de Piaget



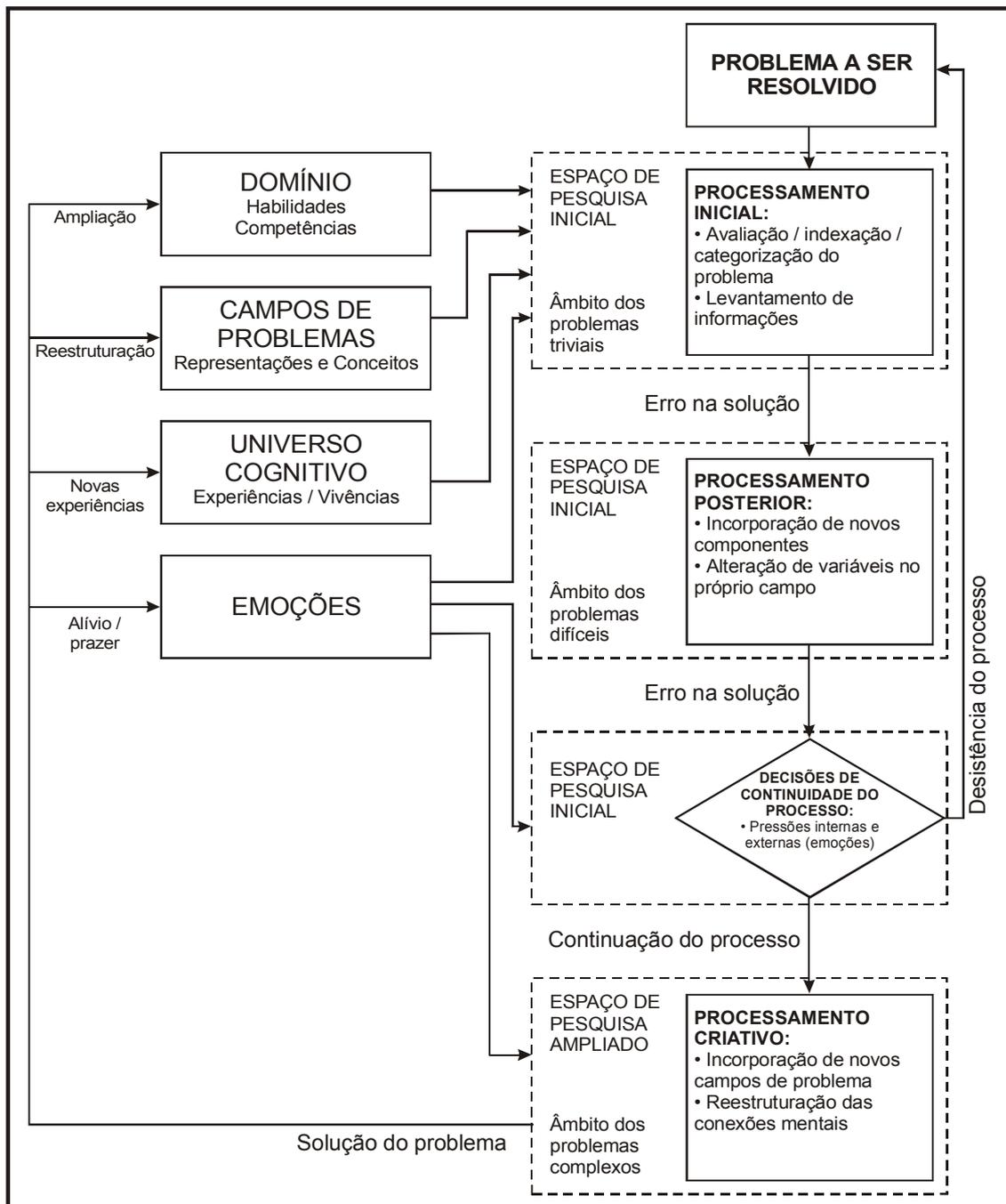
⁴⁰ Caso a interrupção dos processos de solução de problemas torne-se constante (ocorrendo de forma sistemática), o indivíduo acabará por se tornar inseguro de sua própria capacidade criativa, ocasionando bloqueios e traumas psicológicos.

Uma forma poética de se colocar a situação é que, no processo de criação, na busca pelo novo, a felicidade é o fracasso.

4.2 Arquiteturas criativas para solução de problemas

Partindo-se do exposto acima, torna-se relativamente simples modelar uma “arquitetura da criatividade” com o objetivo de possibilitar sua implementação em sistemas de inteligência artificial. O diagrama seguinte apresenta uma visão geral desse modelo.

Figura 4: Modelo cognitivo da criatividade



Esse modelo oferece uma visualização linear do processo criativo de solução de problemas. Note-se que a visualização é oferecida dessa forma para facilitar a apreensão

didática da arquitetura. Na realidade, os processos mentais ocorrem em paralelo, em áreas diversas do cérebro. Foram classificados, também, três tipos de problemas: os triviais, correspondentes às situações do dia-a-dia (Como trocar uma lâmpada? Como amarrar os sapatos?); os difíceis, em que são empregados os poderes mentais do pensamento convergente (Guilford, 1950) e encontradas soluções por processos lógico-dedutivos; e os complexos, que requerem a capacidade criadora para sua resolução.

A caixa “Domínio” representa as habilidades e competências do indivíduo, segundo a classificação de Czikszentmihalyi (1988) *apud* Laske (1993). Na avaliação inicial e na categorização de um problema, o domínio é de fundamental relevância, pois será fator decisivo na definição da prioridade (“grau de urgência”) do problema. Usualmente, quanto menor o domínio envolvendo um problema específico, menor o interesse do indivíduo em resolvê-lo.

A caixa “Campos de Problemas” abrange os conceitos e as representações individuais dos problemas vivenciados. É uma espécie de “índice mental”, que categoriza situações vividas e as relacionadas a conceitos gerais “aprendidos” formalmente, por meio de instrução ou experiência. Como exemplo, o profissional de Administração que necessita incrementar as vendas por meio da comunicação de uma promoção de preços poderá categorizar esse problema como pertencente ao campo “propaganda”.

O “Universo Cognitivo” é associado à memória de longo termo do indivíduo. Nele estão armazenadas todas as experiências vividas e os conhecimentos adquiridos ao longo dos anos.

A caixa de “Emoções” representa o fator emocional e está presente em todos os momentos do processo de solução de problemas: participa na priorização das ações, no

controle das atividades, nas decisões sobre continuidade do processo e é influenciada pela solução final.

A visualização do processo promove a visualização da solução de três tipos de problemas: triviais, cuja resposta é facilmente encontrada já no processamento inicial, correspondentes às situações rotineiras que encontramos no dia-a-dia; os problemas “difíceis”, cuja solução, embora não aparente, pode ser deduzida pela utilização de um processamento posterior (que Piaget identifica como “abstração reflexionante”⁴¹), que viria a estruturar os conhecimentos sem, no entanto, alterar o espaço de pesquisas.

O terceiro tipo são os problemas considerados como complexos e envolvem uma ampliação do espaço de pesquisas, pois resultam de sucessivas respostas inadequadas tanto da lógica dedutiva quanto das experiências prévias em relação ao problema inicial. Esse é um momento delicado na estruturação do raciocínio, pois é quando as emoções exercem maior pressão, obrigando o indivíduo a tomar, continuamente, decisões sobre a persistência no processo de busca da solução ou o seu abandono.

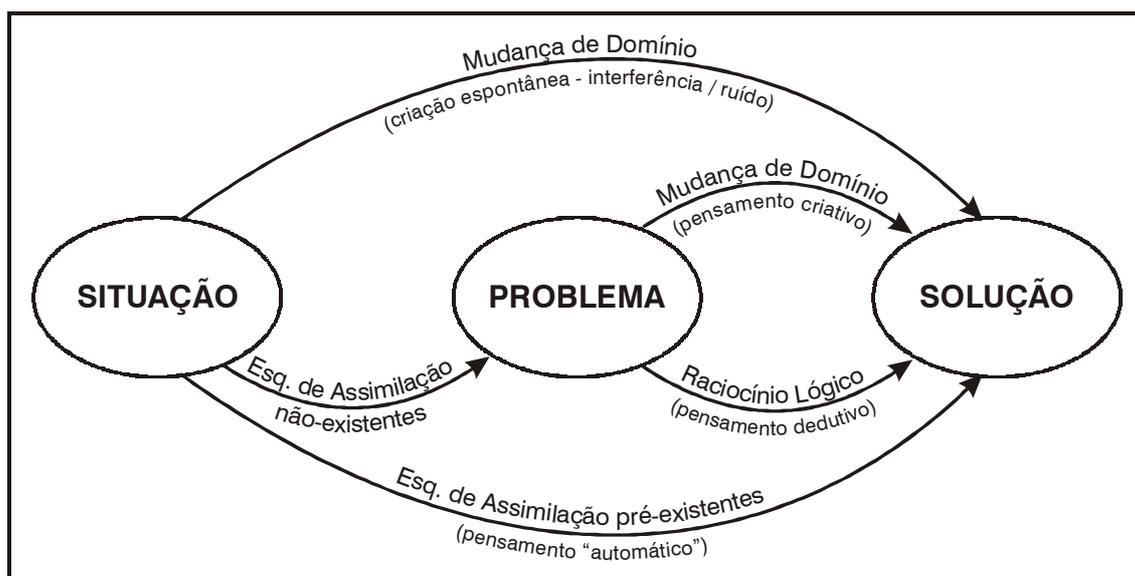
No novo espaço de problema, ampliado pelo impasse provocado pela falta de respostas da lógica dedutiva e das experiências anteriores, o cérebro possui novos fatores, experiências e habilidades, tiradas de outras áreas não consideradas inicialmente, para aplicar ao problema, provocar a reestruturação das conexões mentais e formar novas ligações, propiciando o aparecimento da equilíbrio majorante: uma vez resolvido satisfatoriamente, o problema gera alívio e prazer (no âmbito emocional), agrega novas experiências (que passam a ser estocadas na memória de longo termo, ampliando o universo cognitivo do indivíduo),

⁴¹ Para Piaget, a abstração reflexionante é estruturante dos conhecimentos, forma relações entre elementos e consolida conceitos e oferece uma visão de conjunto simultânea (MONTANGERO, Jacques; NAVILLE, D. Maurice. *Piaget ou a inteligência em evolução*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1999, p. 92-93).

reestrutura os campos de problemas (pela incorporação de novos conceitos e representações de problemas e soluções possíveis) e amplia o domínio geral (pela formação de novas relações entre campos inicialmente não relacionados).

Em termos de relações dinâmicas, a mudança de domínio acontece quando os mecanismos de percepção funcionam de forma diferenciada (em razão de interferências e ruídos), levando ao acionamento de diferentes nós na rede neuronal. O indivíduo passa a “ver” a situação de forma diferente, em razão da atividade em regiões do cérebro que não estariam originalmente associadas àquele contexto específico.

Figura 5: Dinâmica da criatividade



O modelo de aprendizagem piagetiano demonstra que todo aprendizado surge de uma situação. Por meio de esquemas de assimilação, o cérebro tenta compreendê-la, utilizando sua experiência para encaixá-la em um *script*⁴² previamente definido e testado. Se esse *script*

⁴² Estrutura para um esquema que envolve uma compreensão comum sobre os protagonistas, os objetos e a seqüência de ações características numa situação estereotípica. O conceito de *script* utilizado é aquele proposto por Schank e Abelson

produz uma explicação aceitável da situação, não há aprendizado real, mas um pensamento automático – uma resposta conhecida a um problema já experimentado.

Se, por um lado, não existe um *script* disponível que possa lidar com a situação, por outro o indivíduo criativo tenta expressar sua situação de forma intuitiva, utilizando recursos mentais próprios. Em termos concretos, acontece *naturalmente* uma mudança de domínio, e a solução para o problema é encontrada. Esse é o caso de artistas com grande habilidade técnica: eles transformam a própria interpretação da realidade, levando-a a um domínio sobre o qual possuem controle e conhecimento total.

Mesmo quando há um *script* preexistente, é concebível que aconteçam falhas em determinadas situações. O *script* é insuficiente para explicá-las. Nesse ponto, o indivíduo percebe que tem um problema e adota duas possíveis estratégias cognitivas: a convergente ou a divergente. O pensamento convergente (Guilford, 1950, *apud* Kneller, 1978) fornece o caminho lógico, matemático. É o caso do enxadrista profissional, que trabalha com um método mental para alcançar os resultados desejados. Sob essa perspectiva, não há mudança de domínio e, conseqüentemente, a criatividade inexistente. Esse pensamento é adequado para situações controladas, que possuem variáveis definidas e mensuráveis, com um certo grau de previsibilidade. A estratégia divergente trabalha com o cenário oposto: não existem métodos conhecidos e seguros para enfrentar a situação nem variáveis facilmente identificáveis ou mensuráveis que possam interferir na solução do problema. O indivíduo não consegue encontrar, no domínio inicial, elementos suficientes para lidar com a situação e tenta buscar esses elementos em outros domínios e, numa relação de analogia, encontrar subsídios para

(1978) *apud* SCHANK, Roger C. & CLEARLY, Chip. Making machines creative. **The Creative Cognition Approach**, S. Smith, T. B. Ward & R. A. Finke, Eds, MIT Press, p. 229-247, 1995. Disponível em: <http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/06/98/cog00000698-00/creativity_article_v2.html>. Acesso em: 30 de março de 2001.

resolver seu problema. Esse é o caso em que há a criatividade consciente e objetiva, em busca da solução de problemas complexos. Esse tipo de criatividade é característico dos cientistas e inventores, dos publicitários e estrategistas de *marketing*, dos grandes líderes populares e dos generais. E também de todas as pessoas comuns.

4.3 Criatividade e inteligência artificial

Essa modelagem da resolução de problemas facilita a implementação de sistemas de inteligência artificial que façam uso ou que se proponham a simular a criatividade humana. Sua abordagem linear permite a visualização do processo criativo como um fluxo, facilitando especialmente sua adaptação para uso com sistemas especialistas, embora outras técnicas também possam ser utilizadas dependendo dos objetivos finais da própria implementação.

O conceito de inteligência artificial como hoje é aceito nas ciências computacionais nasceu em 1956, em uma conferência de verão no Dartmouth College, em New Hampshire, Estados Unidos. Sua base, no entanto, é muito mais antiga, e abrange disciplinas como a Filosofia, especialmente a Lógica, a Matemática e a Psicologia.

O objetivo central da inteligência artificial é “simultaneamente teórico – a criação de teorias e modelos para a capacidade cognitiva – e prático – a implementação de sistemas computacionais baseados nesses modelos”⁴³. Para isso, são desenvolvidos modelos cognitivos, como a arquitetura da criatividade apresentada neste trabalho; implementações de aplicações; e construção de ferramentas computacionais (*softwares*) que permitam que os modelos cognitivos desenvolvidos possam ser experimentados nas implementações propostas.

⁴³ BITTENCOURT, Guilherme. *Inteligência artificial: ferramentas e teorias*. Florianópolis: Ed. UFSC, 1998, p. 20.

Uma implementação de inteligência artificial que se proponha a simular a criatividade humana deverá levar em consideração os aspectos propostos na arquitetura apresentada, bem como considerar os efeitos do aprendizado de novas situações.

Para isso, o sistema deverá prover condições para:

- expressão de respostas emocionais válidas, conforme as pressões internas e externas ao sistema⁴⁴;
- alimentação de dados transparente ao usuário, emulando o universo cognitivo do sistema;
- sistemas algorítmicos de representações e conceitos inter-relacionáveis;
- categorizações e índices bem definidos, porém flexíveis, de habilidades e competências.

Um problema interessante para se resolver é a questão da *quantidade* e dos *tipos* de competências e habilidades que deveriam ser introduzidos no sistema, bem como de que forma combiná-las conforme as experiências. Ou seja, como resolver o problema da *integração* entre Domínio, Campos de Problemas, Universo Cognitivo e Emoções, e de que maneira cada um deverá interagir com o problema para formar o espaço de pesquisa inicial.

Uma questão pertinente é a de que estratégias cognitivas serão utilizadas para construir seus raciocínios. Deduz-se que quanto mais estratégias cognitivas possuir o sistema, mais facilidade terá na transição entre os domínios, portanto, maior será seu potencial criativo. Assim, um sistema de inteligência artificial que se proponha a simular a criatividade deverá, em última análise, promover a facilitação do processo de transição entre os domínios, por meio da colocação de “obstáculos” nas estratégias cognitivas rotineiramente utilizadas. O

sistema deverá testar várias abordagens para encontrar soluções de problemas, objetivando ganhar experiência na construção de novas relações interdomínios.

A chave para o funcionamento do modelo da criatividade apresentado é a formação dos domínios. Neles estará estruturada toda a base de conhecimentos do sistema, assim como as relações entre os conceitos, as regras dessas relações e as prioridades na formação dos campos. Assim, a próxima seção irá expandir e aprofundar as possibilidades de construção dos domínios em sistemas computacionais e inferir as relações prováveis entre representações de conhecimentos, por meio das ferramentas conceituais propostas por Lévy, Berlin, Kay e Rosch.

⁴⁴ Uma vez que as emoções são fundamentais para o processo cognitivo humano, um sistema de inteligência artificial deverá utilizá-las para ser capaz de interagir com o usuário de forma plena e fornecer respostas criativas para os padrões humanos.

5 DOMÍNIOS NATURAIS E COGNIÇÃO ARTIFICIAL

Até que ponto o computador pode pensar e o ser humano é apenas uma máquina? Essa pergunta vem adquirindo cada vez mais importância desde o advento das tecnologias de inteligência artificial. Para respondê-la, devem-se compreender os aspectos fundamentais das abordagens cognitivas humanas e as arquiteturas de sistemas computacionais.

Este capítulo apresenta uma possível resposta por intermédio de uma análise da fundamentação teórica das principais abordagens cognitivas (representacionismo, nova robótica e escola chilena); da transposição dos conceitos de redes hipertextuais de significados, de categorias e de domínios a sistemas de inteligência artificial; e da possibilidade de implementar um sistema de inteligência artificial, construído com base nesses conceitos, que poderá simular o comportamento inteligente e a criatividade. Também são apresentadas as diferenças entre o pensamento humano e o “pensamento digital”.

Os conceitos e estudos apresentados objetivam fundamentar a possibilidade da construção de domínios mentais, nos termos citados no capítulo anterior, em sistemas de inteligência artificial.

5.1 Representacionismo, Nova Robótica e Escola Chilena: as abordagens cognitivas

As abordagens cognitivas tradicionais baseiam-se no representacionismo, ou seja, na assunção da capacidade humana de cognição ser possível por meio da representação mental⁴⁵

⁴⁵ O conceito de representação, neste artigo, é o mesmo utilizado por Damásio (1999): “padrão que é conscientemente relacionado a algo”, quer se refira a uma imagem mental, quer a um conjunto coerente de atividades neurais em uma região

de objetos do mundo. Trata-se de uma abordagem *top-down*: somente a partir das atividades cognitivas superiores – linguagem e pensamento simbólico-abstrato, entre outras – são possíveis atividades mais básicas, como o senso comum (Teixeira, 1998). De fato, o simbolismo e a representação mental possuem características fundamentais para o raciocínio abstrato, e deles derivam a capacidade de construir “mundos possíveis”⁴⁶, tornando viável a antecipação do futuro e o sistema mental de planos e produções. Por meio de representações do mundo pode-se criar modelos e simular eventos, formando realidades alternativas que serão avaliadas conforme sua pertinência à situação. Em termos teóricos, isso significa que o mundo somente existiria a partir do ponto de vista individual, internalizado em processos mentais representativos dos estados desse mundo. Assim, as pessoas viveriam em função de uma realidade virtual⁴⁷, como agentes onipotentes, oniscientes e onipresentes em todos os seus aspectos, uma vez que as representações são construções mentais conscientes e deliberadas. A teoria clássica da representação parte da pressuposição da estranheza do mundo em relação à mente que o concebe, resultando no entendimento de “mundo” e “mente” como duas entidades separadas e distintas – a representação seria, portanto, uma recuperação de um aspecto do mundo externo do qual a mente não faz parte. E mais: a representação, segundo a visão clássica, deveria possuir propriedades especiais que a distinguissem dos objetos representados. Ela seria, portanto, algo mais do que uma relação física ou uma relação entre coisas do mundo (Teixeira, 1998).

As teorias cognitivas representacionais possuem uma grande funcionalidade quando analisadas sob a perspectiva de um indivíduo maduro, com grande bagagem de

cerebral específica” (DAMÁSIO, A. *O mistério da consciência: do corpo e das emoções ao conhecimento de si*. São Paulo: Cia das Letras, 2000, p. 404-405).

⁴⁶ A teoria de mundos possíveis foi proposta por Leibnitz, e suas aplicações são extensas no campo da Lógica Modal.

representações mentais. Fica mais simples apreender um mundo quando seus elementos estão representados, possibilitando a construção de modelos que o descrevam. Assim, é possível antecipar o que irá acontecer quando se executa qualquer ação concreta, como abrir uma porta, levantar um garfo para trazer o alimento à boca, dirigir um automóvel, virar uma maçaneta, acender a luz, riscar um fósforo, e praticamente quaisquer ações imagináveis. Já há descrições aperfeiçoadas para todas elas. Isso permite que o indivíduo crie um mundo mental (ou um modelo) que irá simular todos os movimentos para, por exemplo, abrir uma porta: a estimativa da distância da mão até a maçaneta, os movimentos para alcançá-la, a força necessária para girá-la, a pressão para segurar a maçaneta enquanto a porta é empurrada, e até mesmo a imaginação do que estará atrás da porta, invisível aos nossos olhos físicos.

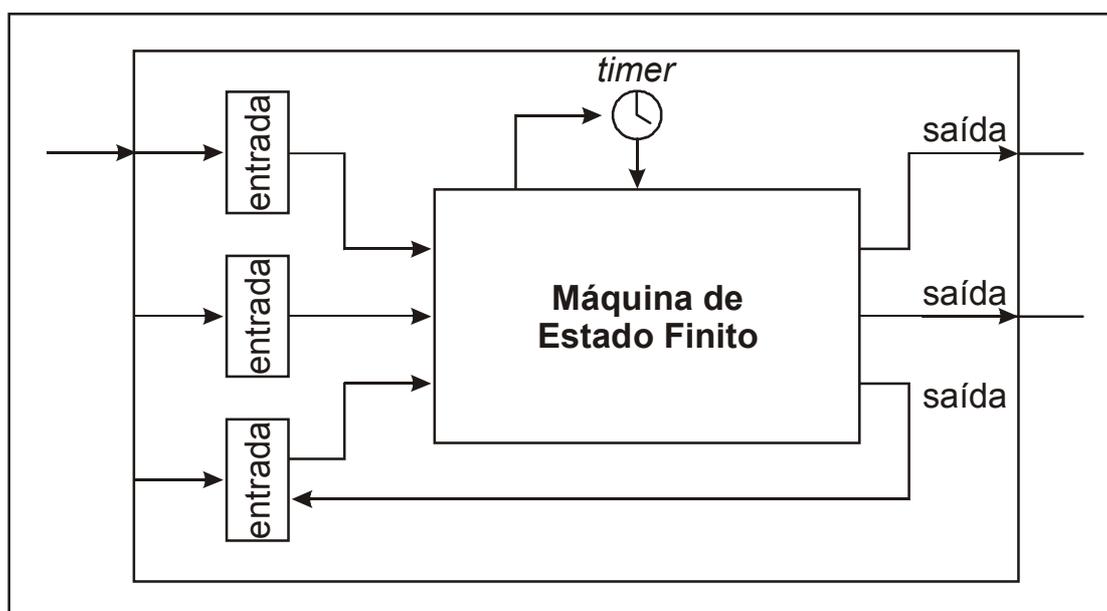
Há, porém, perguntas não respondidas pela teoria representacional. As principais críticas são fruto dos trabalhos da nova robótica desenvolvidos por Brooks nos laboratórios do MIT e pela escola cognitiva chilena. Sob o ponto de vista da nova robótica, a cognição retoma alguns conceitos formulados inicialmente por Marvin Minsky⁴⁸ (1988), aplicando-os às novas tecnologias, revestidos com um enfoque voltado à inteligência artificial. A nova robótica trabalha com o conceito de “camadas” de comportamento autômatas e independentes, capazes de tomar suas próprias decisões conforme as entradas que recebem do ambiente e fornecer uma saída. Cada camada é uma *máquina de estado finito ampliada*, ignorante de outras máquinas e de funcionamento limitado à sua tarefa específica. Um grupo de máquinas de estado finito formam um comportamento, como “pegar alguma coisa”: uma camada é

⁴⁷ Utilizamos “virtual” no sentido empregado por Lévy: aquilo que possui *potência para ser*.

⁴⁸ Minsky propõe que o comportamento inteligente é inconsciente ao indivíduo, executado por *demons*, ou homúnculos, independentes e superespecializados. Cada *daemon* é ignorante da existência de outros *demons* e capaz de executar apenas uma tarefa extremamente simplificada. Por meio de mecanismos de inibição e excitação, os *demons* trabalhariam sinergeticamente, formando um tipo de “sociedade mental”, que viria a caracterizar o pensamento humano.

responsável por verificar a distância, outra por andar até a coisa, outra por movimentar os membros para agarrá-la, outra por controlar a pressão para segurá-la, e assim por diante. Cada camada é ativada ou inibida por uma circunstância do ambiente externo ou por uma saída de outra máquina, captada por meio dos dispositivos de entrada, e controlada por um *timer* sensível ao contexto. Máquinas de estado finito são a base da arquitetura de subsunção, idéia fundamental para a proposta de Brooks e que une a percepção de um mundo externo à ação sobre esse mundo, sem representações prévias.

Figura 6: Representação da máquina de estado finito



Fonte: TEIXEIRA, João de Fernandes. *Mentes e máquinas: uma introdução à ciência cognitiva*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998, p. 136.

Ou seja, para a nova robótica, a estratégia da cognição será *bottom-up*: “a simulação do comportamento inteligente deve ter como ponto de partida os comportamentos simples, mundanos, que não requerem a existência prévia de representações”⁴⁹.

⁴⁹ TEIXEIRA, J. F. *Mentes e máquinas: uma introdução à ciência cognitiva*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998, p. 134.

A escola chilena repete a crítica da nova robótica à teoria representacional e acrescenta um outro aspecto: a limitação imposta à teoria cognitiva tradicional pelos paradigmas herdados da filosofia clássica, que postulavam a imaterialidade mental para dar conta da distinção entre “mente” e “mundo”, criando uma inescrutabilidade dos processos mentais. Essa limitação deu origem à expressão “*ghost in the machine*” como forma de um substrato invisível e intangível, que seria a base dos processos mentais e do próprio conceito de *significado*, fundação semântica de todas as representações.

Esse problema torna-se fundamental quando se examina a questão da intencionalidade sob o ponto de vista cognitivo e consciente. Acontece que a intencionalidade não pode ser expressa em termos simbólicos e, portanto, é impossível ser representada cognitivamente. Essa limitação começa a trazer estagnação teórica e tecnológica, principalmente no campo da inteligência artificial, a partir dos anos 60, quando do insucesso da construção de máquinas de tradução capazes de compreender o contexto e a intencionalidade do autor, pois eram baseadas em conceitos representacionais, ignorando a semântica contextual. “Em suma, a idéia de *conhecimento como representação* parece estar na raiz das dificuldades tecnológicas aparentes envolvidas na construção desses sistemas: explosão combinatorial, comportamento rígido e assim por diante”⁵⁰ (o grifo é do autor).

Varela (1988) define a cognição como “ação efetiva: história do acoplamento estrutural que faz emergir um mundo (...) através de uma rede de elementos interconectados capazes de mudanças estruturais ao longo de uma história ininterrupta”⁵¹. Essa definição pressupõe a

⁵⁰ TEIXEIRA, J. F. *Mentes e máquinas: uma introdução à ciência cognitiva*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998, p. 146.

⁵¹ TEIXEIRA, J. F. *Mentes e máquinas: uma introdução à ciência cognitiva*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998, p. 147.

inteligência como uma interação entre sujeito e ambiente ao longo de um tempo contínuo. Nesse aspecto, a cognição de Varela é bem próxima à de Piaget⁵².

Tanto as críticas da nova robótica quanto as da escola chilena levantam questionamentos pertinentes à teoria cognitiva representacional, principalmente sob os aspectos da intencionalidade e da necessidade da preexistência de representações para a atividade cognitiva. Em uma análise funcional, entretanto, as representações possuem méritos, pois oferecem um ferramental viável para a solução de problemas concretos, desde que possam ser devidamente simbolizadas e contextualizadas. Há que se considerar as bases do cálculo matemático para as soluções desses problemas, principalmente quanto à precisão dos resultados: a arquitetura representacional pode, a partir de um modelo construído, prever estatisticamente os resultados matemáticos prováveis. Essas cálculos, no entanto, não levam em conta os inúmeros fatores reais presentes no mundo no momento da execução da solução, permitindo apenas uma aproximação, conforme explica Lévy:

*“(...) o sistema real vê-se submetido a uma multidão de perturbações que vão desde a respiração do experimentador presente na sala até o movimento de um núcleo de hidrogênio em Alfa do Centauro. Ora, essas perturbações tornam-se rapidamente expressivas, a um ponto tal que o resultado do cálculo, embora exato, ainda assim estará muito distante do resultado observado. (...) Os engenheiros da NASA sabem perfeitamente que os computadores à sua disposição, embora extremamente potentes, não podem calcular o trajeto exato das naves espaciais a partir das condições astronômicas e astronáuticas iniciais.”*⁵³

⁵² Para Piaget, o aprendizado seria consequência de processos de assimilação de uma realidade externa e adaptação a essa realidade por meio de um mecanismo de equilíbrio contínuo e ininterrupto. Sob esse aspecto, cognição envolveria a ação sobre o mundo produzindo mudanças estruturais – por meio da movimentação do próprio corpo, por exemplo – que serve de base para a construção dos modelos mentais referentes para futuras ações.

⁵³ LÉVY, P. *A máquina universo: criação, cognição e cultura informática*. Porto Alegre: ArtMed, 1998, p. 105.

Isso significa que as representações são úteis para testar modelos e simular resultados, mas sua aplicação na vida real está limitada à precisão do modelo que descreve o mundo. Uma vez que modelos são construídos com base na simplificação da realidade – fruto do necessário “purismo” científico –, há que se concluir que dificilmente existirá um modelo que consiga abranger todos os aspectos a serem simulados. Novamente, é Lévy quem melhor coloca a situação:

*“No caso de uma simulação, todas as decisões sobre o que poderia ser pertinente para a evolução do sistema estudado foram tomadas de uma vez só, no momento da formalização do modelo. A experiência real, por sua vez, sempre pode deixar aparecer a importância de um fator no qual não se pensara no momento de sua elaboração.”*⁵⁴

O mesmo argumento que permitiria a derrocada do representacionismo pode ser considerado um de seus sustentáculos: já que é impossível construir um modelo perfeito – ou uma representação perfeita – da realidade, toma-se como ponto de partida a melhor descrição possível do real com o objetivo de, a partir daí, interagir com o mundo. De fato, as novas técnicas de inteligência artificial utilizam justamente esse conceito para desenvolver sistemas inteligentes: o raciocínio baseado em casos permite que o sistema “aprenda” por intermédio da memória (ou, em termos cognitivos, da representação) das experiências passadas, incrementando o modelo por meio da ação executada em cada novo episódio, ao longo de uma história contínua. Os algoritmos genéticos usam uma idéia semelhante: “reprogramam-se” conforme as pressões do ambiente e da memória genética, acrescentando-se fatores aleatórios (que simulam as mutações genéticas da biologia) a cada nova geração ao longo de seu processo evolutivo.

⁵⁴ LÉVY, P. *A máquina universo: criação, cognição e cultura informática*. Porto Alegre: ArtMed, 1998, p. 106.

5.2 As metáforas do pensamento: redes, categorias e domínios

5.2.1 As redes hipertextuais de Lévy

Os estudos da nova robótica demonstram que o comportamento inteligente pode existir sem qualquer representação mental prévia. No entanto, também deixam claro que representações podem ser construídas a partir da ação do sujeito cognoscente sobre o meio, por meio da formação de uma história ininterrupta. Essa história torna-se viável a partir da fisiologia – humana ou simulada – da memória como uma teia para o arquivamento e recuperação das ações executadas e de suas conseqüências para futura utilização em situações semelhantes. A organização da memória humana é episódica e forma uma estrutura narrativa que acaba por criar uma rede de conhecimentos intimamente relacionados, da qual o cérebro tem consciência em razão da sua relevância emocional (Damásio, 1994).

A construção, sempre contínua, dessa rede de conhecimentos pode ser concebida segundo as sugestões de Lévy⁵⁵, por meio de uma rede hipertextual de significados. A base funcional dessa rede está nas relações entre os seus nós – a ativação de um nó estimula a ativação de nós interligados⁵⁶, que, por sua vez, estimulam outros nós, e assim sucessivamente, até que todos os nós relacionados àquele conhecimento estejam ativados. Isso é feito de forma automática, levando a uma renegociação das relações entre os nós para reforçar ou destruir conceitos e significados prévios em função das novas experiências. Uma das grandes vantagens de se conceber o pensamento como uma rede hipertextual é a sua imensa facilidade para acomodar as diversas formas de perceber o mundo: imagens, palavras,

⁵⁵ LÉVY, P. *As tecnologias da inteligência*. Rio de Janeiro: Ed. 34, 1993.

sons, roteiros, sentimentos – praticamente qualquer coisa pode-se tornar um nó. As conexões entre os nós, por sua vez, são construídas por meio da observação de relações de causa-efeito no mundo. Quando o sujeito cognoscente age sobre a realidade, provocando uma mudança, essa mudança é percebida como realimentação para seu sistema cognitivo, o que gera uma nova ponte entre nós e cria uma regra lógica: se *isto*, então *aquilo*. A validade dessa regra será testada inúmeras vezes ao longo da história do indivíduo, levando-o a reforçá-la ou a descartá-la como inválida.

Entretanto, a criação efetiva de redes hipertextuais está condicionada à sua relevância para o sujeito. A sua consolidação na memória será efetivada apenas se o fator emocional estiver presente – ou seja, se a *história* em que se criou tal situação tiver *significado*, seja por meio da analogia com experiências prévias, seja por meio da identificação de uma instância futura, seja em razão de uma reação emocional aprendida. Quanto mais fortes esses fatores, mais chances terá a rede de se instalar na memória. E quanto mais recorrência for feita a ela, por meio do acesso a seus nós, mais ativa será a sua participação nos processos cognitivos como um todo.

As redes hipertextuais fornecem um bom pano de fundo para a compreensão do pensamento humano como algo corrente, abrangente, flexível e variado. Isso somente é possível em razão da fisiologia humana, que dispõe de um sistema nervoso central e altamente plástico, com capacidade de conectar simultaneamente diversas redes de neurônios por intermédio de reações eletroquímicas, para provocar comportamentos específicos. Em um sistema de inteligência artificial, a arquitetura de *hardware* não permite a mesma plasticidade do cérebro humano. Essa plasticidade tenta ser simulada por meio de *softwares* e

⁵⁶ As propriedades de uma rede hipertextual da natureza proposta por Lévy, e, portanto, importantes para a compreensão da ativação de seus nós, são: dinamicidade, heterogeneidade, fractalidade, abertura para o meio, topologia e automação.

pela interconexão de diversos *hardwares* externos. Apesar de conseguir simular redes hipertextuais com relativo sucesso, essas técnicas deixam muito a desejar em razão das limitações tecnológicas e conceituais embutidas em seu próprio desenvolvimento. Questões teóricas não respondidas, como os aspectos relativos à intencionalidade da rede, limitam suas aplicações práticas, enquanto a pouca capacidade de processamento paralelo e a arquitetura digital⁵⁷ tornam quase impossível o relacionamento inter e intra-redes, inibindo o comportamento criativo do sistema.

Porém, quando a intenção é a simulação da própria memória humana, como estruturação de um sistema de armazenamento e recuperação de informações históricas por meio do relacionamento de causa-efeito, a topologia das redes hipertextuais apresenta grande funcionalidade em sistemas de inteligência artificial. Aplicações como *datawarehouses* e *datamining* são beneficiadas com as possibilidades de acesso a informações de diversas naturezas (palavras, sons, imagens etc.) e da pesquisa por relações entre essas informações ao invés da informação em si. Nesse ponto, há enorme proximidade do sistema digital com a inteligência humana. O ser humano, ao buscar lembrar-se de uma situação específica, busca suas referências por meio de relações entre eventos, pessoas, imagens, sons e outras situações, e não por intermédio da procura pela situação em si. O sistema de indexação mental humano é muito mais relacional do que diretivo.

5.2.2 A teoria de categorias e protótipos de Berlin, Kay e Rosch

Outra metáfora para a organização do pensamento humano apresenta-se por meio dos conceitos de protótipos e categorias introduzidos por Berlin e Kay (1969) e desenvolvidos

⁵⁷ Os processos cognitivos humanos funcionam por analogia com a realidade.

por Rosch (1978). Os princípios fundamentais da teoria dos protótipos e das categorias cognitivas baseiam-se na noção de que a percepção do mundo acontece por intermédio da analogia entre objetos desse mundo, numa busca de semelhanças entre esses objetos. Quanto maior o grau de coincidência de aspectos percebidos, mais próximos estarão os objetos sob o ponto de vista cognitivo. Um grupo de objetos com características semelhantes forma uma categoria. O grau de refinamento descritivo das categorias varia conforme a experiência que o indivíduo possui com as entidades das categorias. Rosch introduz, com base nessa observação, a noção de fronteiras difusas entre as categorias – até que ponto uma entidade pertence à categoria A e não à categoria B é uma questão de experiência individual, acontecendo continuamente em um ambiente cultural que alimenta expectativas e demanda respostas adequadas do sujeito (Ungerer, 1996). As fronteiras difusas explicam a sobreposição de categorias – elementos que não são claramente identificados com pertencentes à categoria A ou à B, podendo ser relacionados a ambas as categorias.

É interessante observar que não são as entidades físicas que se misturam umas às outras, mas as categorias das entidades, que são produtos de classificação cognitiva. Ou seja, não são os limites das entidades que são vagos, mas os das categorias desses processos cognitivos. Em termos mais realísticos, as margens difusas são áreas de atrito entre categorias adjacentes, muitas das quais são dependentes do contexto.

Uma vez que as categorias possuem membros diferentes, que podem representar melhores ou piores exemplos dessas categorias, é necessário investigar o que diferencia esses membros. Daí surge a noção de atributo como um conjunto de características comuns aos membros da categoria. Vale ressaltar que estes atributos podem não existir uniformemente em todos os membros, mas apenas em alguns exemplos. Os atributos que definem um

pássaro, por exemplo, são: "coloca ovos", "possui um bico", "tem duas asas e duas pernas", "tem penas", "pode voar", "é pequeno e leve", "pia/canta", "tem pernas pequenas e finas", "possui uma cauda curta". Um avestruz não é pequeno, não voa e não tem pernas pequenas e finas. Um pingüim possui ainda menos atributos de um pássaro, mas ainda assim o identificamos como tal. O que se observa é que os atributos são uma rede de características sobrepostas que funciona por proximidade de exemplos. Essa é a idéia de semelhança de família, definida na forma de uma série de itens da natureza de AB, BC, CD, DE e assim por diante. Isto é, cada membro possui pelo menos um elemento em comum com um ou mais membros, mas nenhum ou muito poucos elementos são comuns a todos os membros.

A estrutura de atributos de uma categoria baseada em protótipos pode ser resumida da seguinte maneira:

- membros prototípicos de categorias cognitivas possuem o maior número comum de atributos com outros membros da categoria e o menor número de atributos compartilhados com membros de categorias vizinhas – ou seja, protótipos de categorias apresentam a maior distinção possível de outros protótipos;
- membros marginais de categorias (maus exemplos) compartilham apenas um pequeno número de atributos com outros membros da sua categoria, mas possuem vários atributos em comum com outras categorias – ou seja, os limites das categorias realmente são difusos.

Um resumo sobre categorias cognitivas pode ser apresentado da seguinte forma:

- categorias não representam divisões arbitrárias do mundo, mas são baseadas nas capacidades cognitivas da mente humana;

- categorias cognitivas de cores, formas, organismos e objetos concretos são ancoradas em protótipos, que têm um importante papel na formação das próprias categorias;
- os limites das categorias são difusos;
- variando entre os protótipos e os limites, categorias cognitivas possuem membros que podem ser avaliados conforme sejam "bons" ou "maus" exemplos da categoria.

A teoria dos protótipos dá conta de uma outra maneira de representar o mundo: por meio da analogia direta com a realidade. Os sistemas computacionais ainda carecem de estruturas perceptivas que os possibilitem entender a realidade como um povoamento de entidades independentes que possuem características comuns⁵⁸. As tecnologias de identificação de formas, por exemplo, apesar de grandes avanços nos últimos anos, ainda é incapaz de perceber até mesmo os padrões mais simples, facilmente identificáveis por crianças humanas. Quando colocados em um ambiente social, com a infinidade de relacionamentos entre as pessoas, e levando-se em conta os aspectos políticos, econômicos, culturais e rituais – entre outros –, os sistemas digitais não possuem capacidade para categorizar essas entidades de forma adequada, faltando-lhes as estruturas perceptivas⁵⁹ necessárias para apreender as sutilezas dessas relações⁶⁰.

A viabilização digital do conceito de categorias e protótipos, no entanto, pode ser útil caso seja construída artificialmente, *a priori* da utilização do sistema. Trata-se da modelagem de uma arquitetura de categorias, com a definição prévia (programada) dos seus atributos e da

⁵⁸ As características compartilhadas pelas entidades do mundo podem ser visuais ou contextuais. Um membro de uma categoria pode-se aproximar de outro tanto por meio de um comportamento semelhante quanto por meio de suas características físicas, por exemplo.

⁵⁹ Entendem-se como estruturas perceptivas as capacidades advindas, no caso humano, dos sentidos que permitem a interação com o mundo –visual, auditiva, olfativa, gustatória e sômato-sensitiva – acrescidas da capacidade da linguagem.

⁶⁰ Não entraremos no mérito da experiência necessária para a interpretação das atitudes e de outras ações humanas, pois parte-se do pressuposto de que tal tipo de interpretação poderia vir a ser aprendida pelo sistema pela observação de relações de causa-efeito, dada a existência de tecnologias adequadas para capturar esse tipo de relação.

entrada classificada de entidades em cada categoria definida. Cria-se, assim, um modelo computacional de um grupo de categorias, bem como de ponteiros para o reconhecimento dos atributos das entidades que as compõem e das entidades que povoam o mundo. Esse modelo simularia, por exemplo, a categoria de “máquinas que andam sobre rodas”, e nelas estariam contidas as entidades “carro”, “caminhão”, “trem-de-ferro”, “avião”⁶¹ e assim por diante. Também deveriam estar listados os atributos necessários para que as entidades se caracterizassem como membros – “ter rodas”, “possuir motor”, “andar”, “parar” etc.

A funcionalidade de um sistema computacional baseado em categorias reside em sua aplicação na estruturação simulada de domínios mentais. Domínios são organizados em torno de classes de conhecimentos e podem ser entendidos como categorias mentais de grande abrangência. Quando é necessária a recuperação de alguma informação técnica, por exemplo, a mente humana recorre a um domínio específico em busca de conhecimento. Quando se depara com um problema matemático, por exemplo, geralmente busca-se a resposta em noções associadas a fórmulas, equações, conjuntos, matrizes, números e assim por diante, e não em representações mentais associadas a arte, diversão, história etc.⁶² A estruturação de um sistema de inteligência artificial utilizando como metáfora a categorização pode, portanto, servir como base para a simulação artificial de domínios mentais, trazendo a funcionalidade de uma representação do mundo próxima aos métodos descritivos humanos e, portanto, em uma linguagem mais natural.

⁶¹ Note-se que a entidade “avião” poderia pertencer – até mais propriamente – à categoria “máquinas que voam”. Porém, um dos principais atributos da categoria “máquinas que andam sobre rodas” é possuir rodas, atributo compartilhado pelo avião.

⁶² É interessante observar que o pensamento criativo, inusitado, pode residir justamente em um processo mental oposto ao citado. Quando se busca uma solução criativa para um problema específico, muitas vezes a resposta está em uma analogia em outro domínio.

5.3 Implementação de domínios cognitivos em sistemas digitais

A aplicação simultânea das teorias de redes hipertextuais de significados e de categorias pode gerar as bases necessárias para, com as tecnologias atualmente disponíveis, construir um sistema de inteligência artificial que apresente comportamento criativo e que, segundo Chalmers (1996)⁶³, poderá vir a desenvolver consciência própria, intencionalidade e reações bem próximas às humanas⁶⁴. A implementação aconteceria em camadas (como sugere a nova robótica), partindo-se de um “baixo nível” para tratamento direto com o ambiente (“camada perceptiva”), que teria como entradas informações sobre o mundo coletadas por sensores específicos (dados introduzidos pelo teclado, pelo *mouse* ou por outros mecanismos comumente encontrados em sistemas domésticos também qualificam-se como sensores, nesse caso). A segunda camada identificaria as informações, enquadrando-as em categorias predefinidas ou, caso estas não existam, armazenando-as na área de trabalho para processamento posterior – essa camada poderia ser identificada como “camada de identificação”. A camada seguinte buscaria relações entre as informações recém-categorizadas e as entidades já existentes, ativando uma ou mais redes hipertextuais de significados – seria a “camada relacional”. Essas relações poderiam ser, então, qualificadas (muito fortes, fortes, normais, fracas, muito fracas ou algum outro sistema de qualificação que permita hierarquizar as relações), para que possam ser atribuídos valores e selecionadas novas categorias para uso no tratamento da situação. A qualificação daria origem, portanto, à “camada qualificatória”. Uma vez identificadas as melhores relações, funcionaria uma nova camada relacional’, desta

⁶³ CHALMERS, D. J. *The conscious mind: in search of a fundamental theory*. New York: Oxford University Press, 1996.

⁶⁴ Vale ressaltar que a natureza exata dessas intenções e reações provavelmente permanecerá desconhecida, já que a base de funcionamento dos sistemas humano e digital é fundamentalmente distinta – uma analogia semelhante seria comparar as emoções entre seres humanos e macacos: sabe-se que ambos possuem emoções, porém sua natureza é bastante diferente (DENNETT, Daniel C. *Kinds of minds: towards an understanding of consciousness*. New York: Basic Books, 1996).

vez em sentido oposto – a entrada seriam as relações, e a saída, as melhores categorias que atendem às relações estabelecidas. Nesse momento, entraria em funcionamento uma “camada adequada”, que selecionaria as categorias pertinentes à situação inicialmente encontrada, encaminhando-as novamente à camada relacional, para identificação das relações entre essas categorias selecionadas. Por fim, as relações seriam repassadas a uma “camada interativa”, que transformaria as relações encontradas em ação sobre o mundo, inclusive na forma de linguagem, caso esta seja uma das relações selecionadas.

Essa implementação assemelha-se a uma espécie de “linha de montagem de pensamentos”, como se todas as operações fossem realizadas em série. No entanto, com o desenvolvimento das redes de processamento distribuído, algumas operações podem ocorrer em paralelo, como as pertinentes à camada perceptiva, que recolhe informações sobre o ambiente ao mesmo tempo em que a camada de identificação analisa os dados previamente recolhidos. Na realidade, como o sistema está inserido em uma história, o funcionamento é constante e ininterrupto em todas as camadas.

Por estar inserido em uma história, e não dedicado ao processamento de um único evento, haverá sempre uma máquina de estado finito ampliada e combinatorial⁶⁵ alocada para o controle de cada operação, responsável pela armazenagem das novas situações encontradas em categorias preexistentes e pela manutenção das redes hipertextuais do sistema (incluindo reforço ou destruição e criação de novas pontes entre nós). Essa seria a “camada de controle e armazenamento”. Chalmers (1996) propõe a implementação de sistemas inteligentes que

⁶⁵ As máquinas de estado finito ampliadas e combinatoriais são como máquinas de estado finito comuns, porém possuem como entradas vetores, e não dados simples; seu funcionamento interno e saídas são orientados a vetores de informações (CHALMERS, D. J. *The conscious mind: in search of a fundamental theory*. New York: Oxford University Press, 1996).

poderiam tornar-se conscientes por meio da utilização dessas máquinas de estado finito ampliadas e combinatoriais.

Também é necessária a implementação de um subsistema para o tratamento do erro. O erro acontece quando o sistema se depara com uma situação totalmente inédita, não apresentando nem categorias e nem redes predefinidas para adequadamente negociá-la. Nesse caso, o subsistema encontra-se programado para fazer uma varredura pelas demais categorias e redes, buscando as maiores semelhanças e diferenças possíveis, e executa uma sobreposição dos resultados – em suma, utiliza a experiência formada por uma rede ou categoria inapropriada como subsídio para a criação de novos domínios ou para a incorporação da nova situação em categorias e redes preexistentes, mediante a execução do modelo pré-programado. Em termos computacionais, esse subsistema funcionaria como um *buffer* de informações para as quais não existe tratamento específico, enquanto o sistema tenta descobrir qual a melhor estratégia para tratá-las. No sistema cognitivo humano, faria um papel semelhante ao da nossa memória de trabalho.

As camadas desse sistema de inteligência podem ser decupadas conforme demonstra o diagrama a seguir.

Quadro 5: Simulação dos processos mentais em sistemas computacionais através da arquitetura sugerida

Processo mental	Construto para a simulação
Representação do mundo	Camadas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ perceptiva; ▪ identificação; ▪ relacional.
	Estratégias: <ul style="list-style-type: none"> ▪ categorização das entradas; ▪ identificação de relações (redes).
Processamento da situação	Camadas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ qualificatória; ▪ relacional; ▪ adequada.
	Estratégias: <ul style="list-style-type: none"> ▪ comparação (das relações entre as entidades – redes); ▪ categorização das relações.
Ação sobre o mundo	Camadas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ interativa.
	Estratégias: <ul style="list-style-type: none"> ▪ seleção de categorias e relações.
Tratamento do erro	Camadas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ tratamento do erro.
	Estratégias: <ul style="list-style-type: none"> ▪ categorização do erro; ▪ categorização da experiência; ▪ relacionamentos decorrentes da experiência (resultados integrados às redes hipertextuais).
Controle do processo	Camadas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ controle e armazenamento.
	Estratégias: <ul style="list-style-type: none"> ▪ categorização da experiência; ▪ manutenção das redes.

Entretanto, a existência dos mecanismos que possibilitam a simulação da inteligência não é condição suficiente para que realmente exista inteligência. Tanto esta como a sua característica observável – o comportamento inteligente – dependem de bases de conhecimentos e de relações entre essas bases; computadores e seres humanos compartilham bases de conhecimento sustentadas em *hardwares* diferentes, impondo a obrigatoriedade da

aproximação do sistema cognitivo humano por meio de sua simulação, conforme demonstrado no quadro 6.

Quadro 6: Paralelo entre o cérebro humano e os sistemas computacionais

Processos de Inteligência	Cérebro Humano	Sistemas Computacionais
Organização da informação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rede hipertextual (Lévy) ▪ Protótipos e categorias (Rosch, Kay) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bases de dados (<i>datawarehouses</i>)
Representação do mundo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analógica (ícones) ▪ Digital (linguagem) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Digital
Evidência do processo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consciência ▪ Varredura em paralelo, com processamento em <i>background</i> ▪ Não exclusivo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não consciente ▪ Varredura seriada, com processamento em primeiro plano ▪ Exclusivo
Abertura a estímulos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aberto a estímulos externos durante o processamento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fechado a estímulos
Dependências	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Depende de conhecimentos e experiências prévias (crenças) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Depende de bases de dados bem montadas
Orientação e tipo de processamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Por relevância ▪ Difusa 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coincidência de informações ▪ Exata

A implementação desse tipo de sistema, a princípio, pode ser realizada em qualquer tipo de *hardware* computacional. A efetivação e os testes necessários, entretanto, estão além do escopo deste trabalho, abrindo portas para novas pesquisas e desenvolvimento de processos e técnicas de aplicações para inteligência artificial. Em especial, a arquitetura sugerida parece permitir a construção de domínios cognitivos computacionais, por meio da categorização de entidades e de relações hipertextuais de significados, possibilitando o surgimento de *insights* criativos do próprio sistema pelo “aprendizado”, em razão do tratamento de erros, gerando um conseqüente aumento da quantidade de categorias cognitivas e das relações entre elas (redes). Em aplicações voltadas à criatividade e à solução de problemas por analogia, parece adequada a utilização desse tipo de estrutura.

Baseado no exposto, a formação de domínios artificiais encontra suporte nas teorias apresentadas. De fato, as pesquisas da Nova Robótica atestam a capacidade de se construir representações de objetos com base na interação com o meio; a teoria das categorias e dos protótipos de Berlin, Kay e Rosch permite compreender os mecanismos de formação de conceitos por meio das representações de objetos; e as redes hipertextuais de Lévy fazem as ligações entre os conceitos para a construção de um domínio. A integração desses domínios em um sistema de inteligência artificial que de fato aplique o modelo da criatividade proposto na figura 4, entretanto, ainda deve responder a algumas considerações, especialmente as pertinentes à função exploratória do modelo em si, das possibilidades técnicas de efetivamente implementá-lo e das estratégias para a auto-organização dos domínios. A seguir, buscam-se respostas para essas considerações, apresentando uma análise das potencialidades do sistema como ferramenta de aprendizado; dos métodos de inteligência artificial mais adequados para implementá-lo em uma arquitetura de camadas; e dos estudos de Heylighen para a auto-organização da rede de domínios.

6 PROTÓTIPO: ELEMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA CRIATIVO ARTIFICIAL DE APRENDIZAGEM

6.1 Escopo do protótipo

Um modelo é de pouco uso se não puder ser aplicado, testado, comprovado e aperfeiçoado. Na ciência cognitiva, uma das melhores maneiras de testar modelos é implementá-los por meio de um protótipo, utilizando linguagens de programação e uma descrição formal de seus métodos. Embora esta dissertação tenha seu escopo na definição do modelo, é de interesse científico que sejam sugeridas algumas direções para uma eventual construção de um protótipo.

Com essa finalidade, este capítulo descreve, sucintamente, alguns aspectos a serem considerados no desenvolvimento de um sistema que utilize a arquitetura da criatividade proposta. Esses aspectos abrangem: a) a ergonomia e a função pedagógica do protótipo sob a perspectiva do seu usuário, fornecendo indicações de como poderá ser uma interface tanto de comunicação quanto de percepção da realidade; b) algumas possíveis técnicas de inteligência artificial promissoras para implementação em camadas do sistema; e c) uma estratégia para a auto-organização do sistema, por meio das redes de vinculações propostas por Heylighen (1997). Em momento algum são detalhadas as formalizações necessárias para a implementação nem as opções de linguagens que poderiam ser adotadas.

6.2 Ergonomia e a função pedagógica de um protótipo

Historicamente, o processo educacional esteve sempre ligado à própria evolução social da humanidade (Gadotti, 1999). Portanto, para entendê-lo em sua plenitude, seria necessária uma análise detalhada dos aspectos culturais, sociais, econômicos, políticos e tecnológicos que permeiam a sociedade. Essa não é a intenção deste capítulo. Ao invés disso, preferiu-se focar as interações entre o indivíduo-aluno e os possíveis ambientes de aprendizado tecnológicos, analisando os fatores que influenciam a eficiência de tal aprendizagem e sugerindo alternativas para melhorar a eficácia do processo. Para isso, torna-se necessário familiarizar-se com algumas estratégias cognitivas para o aprendizado, com alguns ambientes virtualizados e com as interações entre o aprendiz e o mestre.

6.2.1 Estratégias cognitivas para o aprendizado

A história da psicologia do aprendizado remonta, no que interessa ao estudo em questão, ao século IV a.C., especificamente à escola de filosofia fundada por Platão para difundir as idéias de Sócrates. No livro VII de “A República”, Platão expõe o mito da caverna, alegoria segundo a qual o mundo que conhecemos não é senão a sombra projetada em uma parede da caverna da realidade pelas idéias puras que são inculcadas, ao nascer, em nossa alma. Ou seja, o conhecimento é sempre a projeção de nossas idéias inatas (Pozo, 1999). Essa doutrina ressurgiu no pensamento racionalista e idealista de Descartes, Leibniz e Kant e foi revisitada por autores representativos do movimento cognitivista atual, como Fodor e Chomsky. Aristóteles, discípulo de Platão, desenvolveu outra doutrina: a da *tábula rasa*, segundo a qual o conhecimento provém dos sentidos que dotam a mente de imagens, que se associam entre si segundo três leis: a contigüidade, a semelhança e o contraste. A influência de Aristóteles será

sentida na psicologia da aprendizagem por meio de seus reflexos no estruturalismo e, principalmente, no comportamentalismo de Skinner.

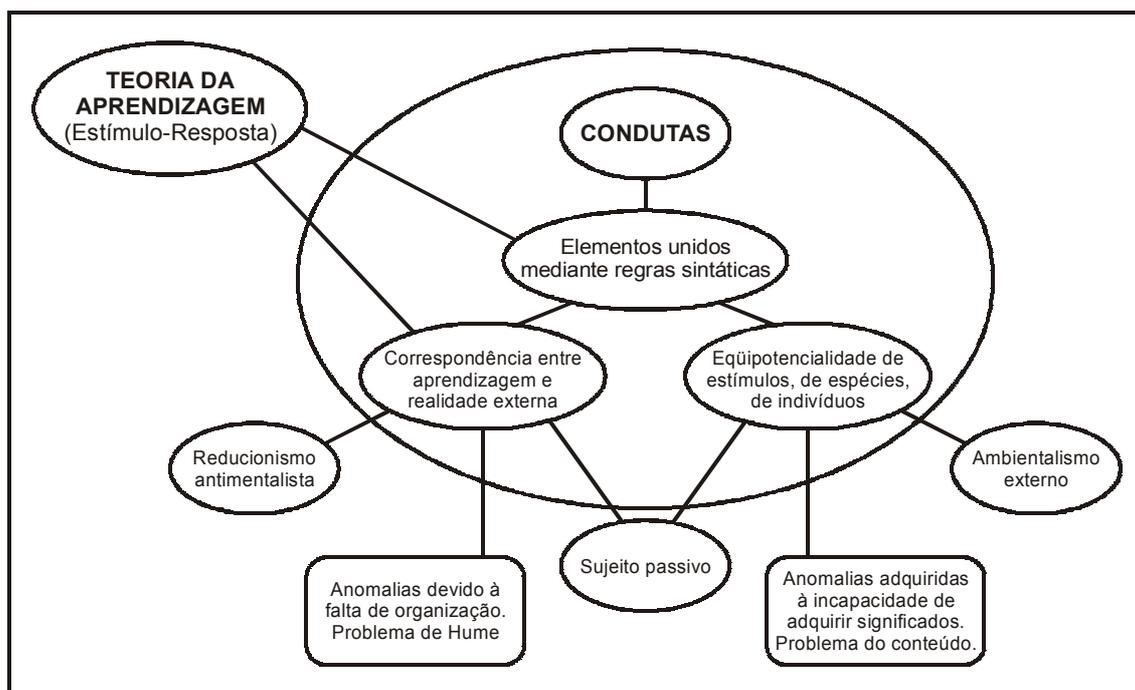
A respeito do comportamentalismo, trata-se de uma forma de resposta ao subjetivismo. Para os comportamentalistas, o estudo dos processos mentais superiores para a compreensão da conduta humana é desnecessário: aprende-se por condicionamento e repetição (Pozo, 1999). O impulso dado por diversos fatores externos à psicologia, especialmente a evolução tecnológica, as novas teorias da comunicação, a lingüística e a cibernética, trouxe um novo paradigma, representado pelo processamento de informações, que torna possível o estudo dos processos mentais que o comportamentalismo negava. Esses novos estudos, apoiados em bases tecnológicas e buscando uma interdisciplinaridade em campos como a filosofia, a informática, a medicina e a própria psicologia, geraram a escola cognitivista.

A relevância dessas duas doutrinas para a aprendizagem é significativa. Historicamente, inclusive nos dias atuais, há um predomínio do enfoque comportamentalista nas metodologias de ensino das escolas de praticamente todos os níveis. Teóricos como Chi e Rees (1983), Gagné Glaser (1987), Mandler (1985), Shuell (1986) *apud* Pozo (1999), entre outros, acreditam haver motivos para se confiar na possibilidade de que o enfoque cognitivista venha a ser adotado como modelo de aprendizagem em um futuro próximo. Na realidade, algumas experiências já estão sendo realizadas nesse sentido, mas se trata de estudos embrionários e que não chegam a representar um movimento claro rumo à adoção da psicologia cognitiva da aprendizagem (Pozo, 1999).

Lakatos (1978) *apud* Pozo (1999) desenvolveu uma aplicação da teoria comportamentalista à aprendizagem, que buscava conciliar os fundamentos do

condicionamento e da repetição como bases para a pesquisa científica, e esta como fator de aprendizado.

Figura 8: O comportamentalismo como programa de pesquisa científica

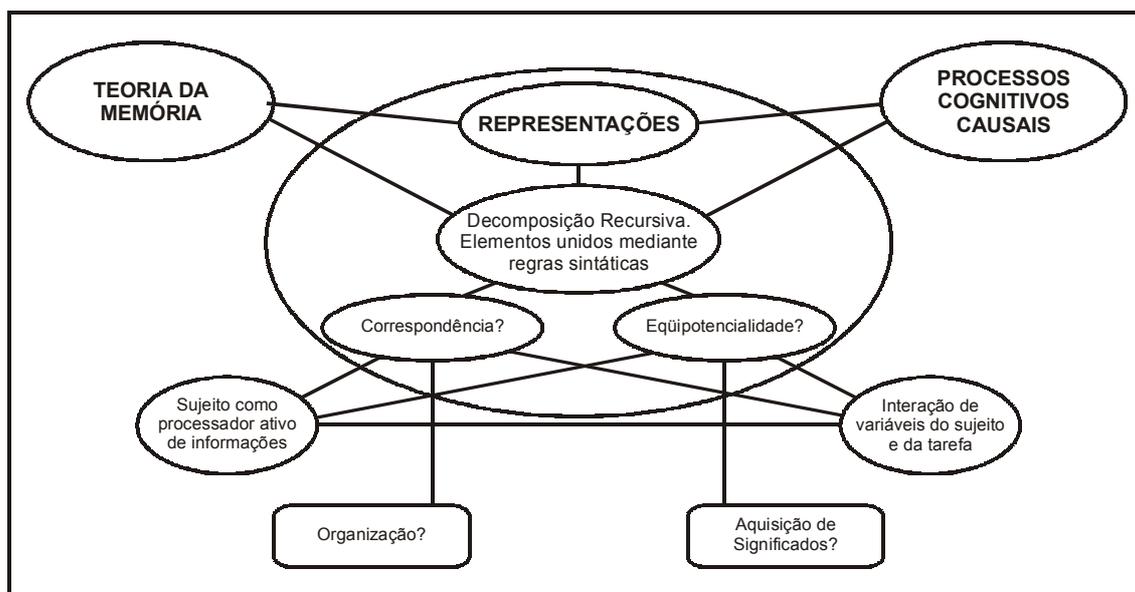


Fonte: POZO, Juan Ignacio. *Teorias cognitivas da aprendizagem*. 3 ed., Porto Alegre: Artes Médicas, 1998, p. 25.

Uma das principais críticas ao comportamentalismo é a sua incapacidade de produzir respostas teóricas originais. Como consequência, novos programas vêm sendo elaborados, cuja fundamental diferença é uma liberação do núcleo conceitual comportamentalista, eliminando, principalmente, a rejeição dos processos cognitivos e aprofundando o processamento de informações (Pozo, 1999). O conceito central da psicologia cognitiva, na qual se embasa este novo programa, é mais abrangente do que o próprio conceito de processamento de informações. Segundo Rivière (1987) *apud* Pozo (1999), “o mais geral e comum que podemos dizer da Psicologia Cognitiva é que remete à explicação da conduta, a entidades mentais, a estados, a processos e disposições de natureza mental, para os quais

reclama um nível de discurso próprio⁶⁶. Isso significa, portanto, que a ação do sujeito está determinada por suas representações mentais.

Figura 9: O processamento de informações como programa de investigação científica



Fonte: POZO, Juan Ignacio. *Teorias cognitivas da aprendizagem*. 3a. ed., Porto Alegre: Artes Médicas, 1998, p. 42.

Assim, a capacidade de aprendizagem estaria determinada pela forma como o indivíduo representa seus conhecimentos, em conjunto com as suas capacidades de memória e com os seus processos cognitivos causais. Para adquirir essas representações, o ser humano tem como canais seus mecanismos de assimilação, aqui entendidos “no sentido amplo de uma integração às estruturas prévias”⁶⁷, e utiliza, para isso, seus sentidos como porta para uma percepção do mundo externo, aliados a processos mentais de tratamento das informações. A maior ou menor efetividade dessa assimilação depende de fatores de aprendizado, que variam de pessoa para pessoa, constituindo estratégias de aprendizagem. Essas estratégias levam em

⁶⁶ POZO, Juan Ignacio. *Teorias cognitivas da aprendizagem*. 3 ed., Porto Alegre: Artes Médicas, 1998, p. 40-41.

conta fatores emocionais, motivacionais, sensoriais, e intelectuais (ou, utilizando uma terminologia computacional, lógico-matemáticos).

6.2.2 Fatores emocionais

Goleman (1995) coloca a problemática da inteligência emocional como um novo tipo de competência, que pressupõe o cultivo de aptidões que são próprias do “coração humano”. Sua teoria entra em cena no contexto de uma sociedade em que há aumento crescente na violência em praticamente todas as suas formas (criminalidade, suicídios, abuso de drogas e outros indicadores de mal-estar social); o individualismo, até como consequência das pressões sociais, atinge um exacerbamento nunca visto, ocasionando, por sua vez, uma competitividade cada vez maior, principalmente no mercado de trabalho e no meio acadêmico. Essa conjunção de fatores traz o isolamento e a deteriorização das relações sociais o que gera uma lenta desintegração da vida em comunidade e a necessidade de autoafirmação.

Colocando esse cenário sob a perspectiva da aprendizagem, depreende-se a noção de que a educação emocional – ou, usando outras palavras, o aprendizado emocional – necessita urgentemente ser repensada. O cérebro humano possui mecanismos para lidar com as emoções, mas tais mecanismos são fruto de uma evolução biológica que remonta à própria origem da vida (Pinker, 1998). Nosso aparato mental está preparado para confrontar situações “selvagens”, como as encontradas em uma floresta, mas possui poucos recursos para confrontar o trânsito no horário do *rush*. Nas palavras de Goleman (1995):

⁶⁷ MONTANGERO, Jacques e NAVILLE, D. Maurice. *Piaget ou a inteligência em evolução*. Artes Médicas: Porto Alegre, 1999, p. 114.

“Em nosso repertório emocional, cada emoção desempenha uma função específica, como revelam suas distintas assinaturas biológicas (...). Diante das novas tecnologias que permitem perscrutar o cérebro e o corpo como um todo, os pesquisadores estão descobrindo detalhes fisiológicos que permitem a verificação de como diferentes tipos de emoções preparam o corpo para diferentes tipos de resposta:

Na raiva, o sangue flui para as mãos, tornando mais fácil sacar a arma ou golpear o inimigo; os batimentos cardíacos aceleram-se e uma onda de hormônios, a adrenalina, entre outros, gera uma pulsação, energia suficientemente forte para uma atuação vigorosa.

No medo, o sangue corre para os músculos do esqueleto, como os das pernas, facilitando a fuga; o rosto fica lívido, já que o sangue lhe é subtraído (...). Ao mesmo tempo, o corpo imobiliza-se, ainda que por um breve momento, talvez para permitir que a pessoa considere a possibilidade de, em vez de agir, fugir e se esconder. Circuitos existentes nos centros emocionais do cérebro disparam a torrente de hormônios que põe o corpo em alerta geral, tornando-o inquieto e pronto para agir. A atenção se fixa na ameaça imediata, para melhor calcular a resposta a ser dada.

A sensação de felicidade causa uma das principais alterações biológicas. A atividade do centro cerebral é incrementada, o que inibe sentimentos negativos e favorece o aumento da energia existente, silenciando aqueles que geram pensamentos de preocupação. Mas não ocorre nenhuma mudança particular na fisiologia, a não ser uma tranquilidade, que faz com que o corpo se recupere rapidamente do estímulo causado por emoções perturbadoras. Essa configuração dá ao corpo um total relaxamento, assim como disposição e entusiasmo para a execução de qualquer tarefa que surja e para seguir em direção a uma grande variedade de metas.

O Amor, os sentimentos de afeição e a satisfação sexual implicam estimulação parassimpática, o que se constitui no oposto fisiológico que mobiliza para “lutar-ou-fugir” que ocorre quando o

sentimento é de medo ou ira. O padrão parassimpático, chamado de “resposta de relaxamento”, é um conjunto de reações que percorre todo o corpo, provocando um estado geral de calma e satisfação, facilitando a recuperação.

O erguer das sobrancelhas, na surpresa, proporciona uma varredura visual mais ampla, e também mais luz para a retina. Isso permite que obtenhamos mais informação sobre um acontecimento que se deu de forma inesperada, tornando mais fácil perceber exatamente o que está acontecendo e conceber o melhor plano de ação.

Em todo o mundo, a expressão repugnância se assemelha e envia a mesma mensagem: alguma coisa desagradou ao gosto ou ao olfato, real ou metaforicamente. A expressão facial de repugnância (...) sugere, como observou Darwin, uma tentativa primeva de tapar as narinas para evitar um odor nocivo ou cuspir fora uma comida estragada.

Uma das principais funções da tristeza é a de propiciar um ajustamento a uma grande perda, como a morte de alguém ou uma decepção significativa. A tristeza acarreta uma perda de energia e de entusiasmo pelas atividades da vida, em particular por diversões e prazeres. Quando a tristeza é profunda, aproximando-se da depressão, a velocidade metabólica do corpo fica reduzida. (...) É possível que essa perda de energia tenha tido como objetivo manter os seres humanos vulneráveis em estado de tristeza para que permanecessem perto de casa, onde estariam em maior segurança.⁶⁸

Essa diversidade emocional demonstra que existem momentos e situações que propiciam uma aprendizagem mais efetiva. Uma metodologia de ensino que buscasse provocar uma sensação de felicidade, ou que se dispusesse a, no mínimo, respeitar momentos de tristeza ou

⁶⁸ GOLEMAN, Daniel. *Inteligência emocional: a teoria revolucionária que redefine o que é ser inteligente*. 76 ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 1995, p. 20-22.

raiva, teria mais condições de formar novas estruturas mentais e relacionar mais eficiente os conhecimentos adquiridos.

6.2.3 Fatores motivacionais

A motivação traz embutida o conceito de impulso para a ação e para a manutenção da ação. Schank (1995) propõe que o aprendizado é um processo natural, que acontece na forma de uma “cascata”: primeiro, o aprendiz adota uma meta, em seqüência gera uma pergunta ou um questionamento e, finalmente, responde à pergunta. Esse processo traz de forma implícita a importância do fator motivacional no aprendizado: quando se deseja aprender a andar de bicicleta, por exemplo, uma meta foi adotada. No decorrer do processo “andar de bicicleta”, o aprendiz irá cair, se desequilibrar ou parecer tolo, e isso tudo o fará questionar, mesmo que internamente, o que está fazendo de errado – por que não consegue andar de bicicleta? Buscará, então, respostas a esse questionamento, e aprenderá.

No entanto, Schank não explicita o papel motivacional inicial: por que alguém gostaria de andar de bicicleta? E, para dar seqüência ao raciocínio, por que o aprendiz não desistiu quando caiu pela primeira vez? Essa motivação para “continuar tentando” é conseqüência das pressões internalizadas por sentimentos de inadequação, de desafio ou de curiosidade. Portanto, para que o aprendizado se concretize em sua plenitude, é necessário um constante estímulo às motivações do estudante.

Para conseguir manter a motivação, pesquisadores desenvolvem novas propostas educacionais, como a auto-orientação e a eficácia pessoal como metas educacionais (Barrel, 1995). Dessa forma, os estudantes podem tomar suas próprias decisões sobre seu aprendizado, cultivando um desejo presente em todos os seres humanos: a independência

(Goodlad, 1984). Outro importante fator motivacional é a relevância do aprendizado. Estudantes aprendem mais efetivamente quando o que está sendo ensinado tem relação direta com a sua realidade, oferecendo-lhe a oportunidade de se tornar um agente de sua própria vida (Freire, 1996). “Quando professores ligam novas informações ao conhecimento prévio do estudante, ativam o seu interesse e curiosidade, e embutem a instrução com um senso de propósito” (Presseisen, 1995).

Não é suficiente, portanto, que se adote apenas a “cascata natural” proposta por Schank. O educador precisa mostrar ao estudante que é bom entrar na água, se molhar e “escalar a cascata”.

6.2.4 Fatores sensoriais

Os sentidos são a porta de entrada para as informações do mundo. O que se conhece deriva de forma direta dos mecanismos que possuímos para apreender a realidade e representá-la. Como fenômeno biológico, o ser humano possui sistemas de percepção capazes de estimular o cérebro a interagir com o mundo com o intuito de compreendê-lo ou modificá-lo, a fim de garantir a adaptação⁶⁹ da espécie. A qualidade dessa percepção varia de pessoa para pessoa e de cultura para cultura.

“Perceber é conhecer, através dos sentidos, objetos e situações. (...) O ato de perceber ainda pode caracterizar-se pela limitação informativa. Percebe-se em função de uma perspectiva. A possibilidade

⁶⁹ Adaptação, nesse contexto, possui o sentido darwinista associado à adaptação seletiva – precisamos nos adaptar para que possamos sobreviver.

*de se apreender a totalidade do objeto apenas ocorre na imaginação, que, por outro lado, constitui forma de organização da consciência internamente protegida contra o erro*⁷⁰.

Sob essa definição escondem-se alguns aspectos fundamentais para o aprendizado. Um deles é a limitação da quantidade e da qualidade das informações que podem ser percebidas. Isso é facilmente entendido quando se estuda, por exemplo, história clássica. Por mais que se leia sobre o assunto, nenhum livro poderá transmitir acuradamente os sentimentos, os odores, as cores, as tensões sociais e políticas que existiam na época. Outro aspecto aborda a questão da perspectiva: percebe-se o que se quer perceber. Na prática do aprendizado, isso significa que pouco adianta insistir em ensinar a um aluno que possui base de conhecimentos diferente da do professor, posto que sua perspectiva em relação ao assunto abordado é outra – seria como tentar conversar com um chinês sem saber falar chinês. Nesse caso, segundo o conceito de percepção de Penna, não há percepção real do objeto de estudo, mas uma construção mental inadequada que protege a mente contra o erro. Colocando-se de outra forma, “nenhum ser humano (...) consegue dominar elementos apresentados sob uma forma não gerenciável pelo sistema nervoso” (Greenspan, 1999).

6.2.5 Fatores intelectuais

Para Piaget, todo aprendizado é fruto de relações mentais de abstração e equilibração. Em outras palavras, o ser humano busca constantemente o aprimoramento das suas capacidades superiores de raciocínio. Assim, utilizando mecanismos de assimilação, acomodação e

⁷⁰ SARTRE, J. P. *L'Imaginaire*. Paris, 1940, p. 21, citado por PENNA, Antonio Gomes in *Percepção e realidade: introdução ao estudo da atividade perceptiva*, Rio de Janeiro: Imago, 1993, p. 11.

adaptação⁷¹, as pessoas aprendem com seus erros e acertos, analisando-os por intermédio de operações mentais e relações de agrupamento. Esse processo é o que Piaget chama de mecanismo de equilíbrio.

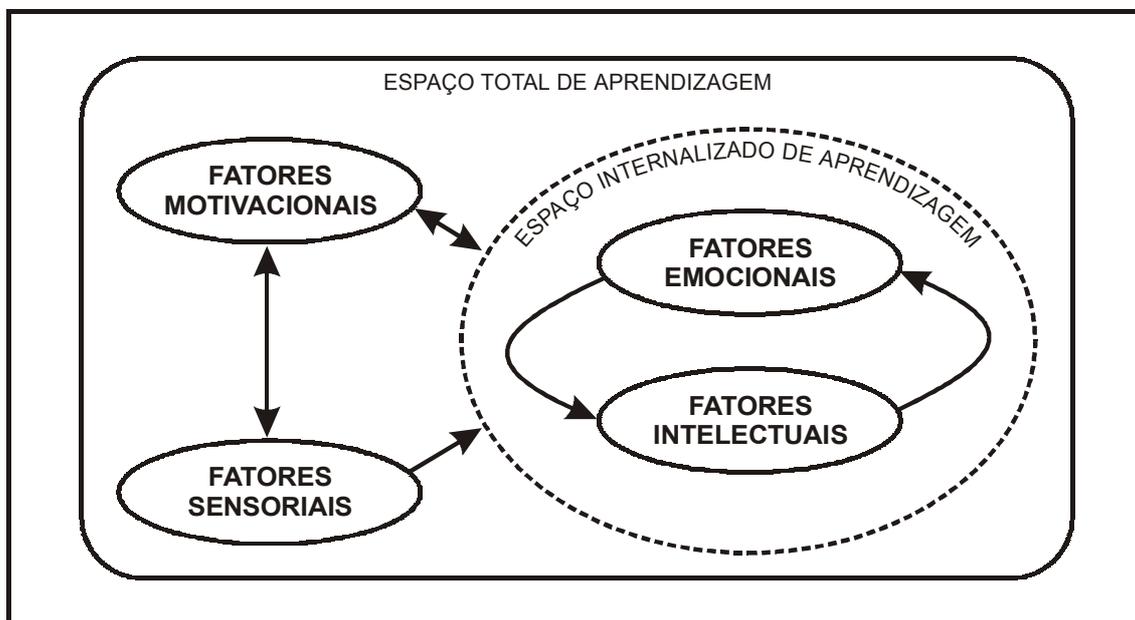
Podem ser incluídos, nos fatores intelectuais, as operações, as relações, os agrupamentos, a construção de esquemas e a estruturação, todos segundo a perspectiva piagetiana. De fato, de tais manipulações mentais deriva a representação da realidade que cada um possui. Para Piaget, a inteligência é construída de forma contínua, por meio de processos de abstração mental que resultam das relações entre indivíduo e objeto. Essas relações acontecem, em sua forma mais elevada, como operações abstratas, que dão conta da realidade associando estruturas mentais e criando esquemas de assimilação da realidade. Daí a denominação de fatores *intelectuais*: sua eficácia depende da coordenação mental lógico-matemática, influenciada pelos demais fatores como a percepção, a emoção e a motivação.

A importância dos fatores intelectuais é determinante da qualidade do aprendizado tanto quanto os demais fatores. Alguns educadores tendem a colocar demais ênfase nos aspectos intelectuais, esquecendo-se, porém, que estes mesmos fatores dependem de uma série de circunstâncias externas a eles (Antunes, 1998; Gardner, 1995). Em outras palavras, é importante pensar, mas o mundo não existe apenas de pensamentos.

O aprendizado, portanto, depende de uma conjunção de fatores de ordem dual, envolvendo, em última análise, aspectos físicos (sensoriais e intelectuais) e emotivos (motivacionais e emocionais), com relacionamentos complexos entre si e com o ambiente externo.

⁷¹ Adaptação, nesse caso, tem o sentido piagetiano de “realização de um equilíbrio progressivo entre um mecanismo assimilador e uma acomodação complementar” (PIAGET, 1936)

Figura 10: A interação dos fatores nos espaços de aprendizagem



A análise desses fatores sugere a existência de dois espaços para a aprendizagem, um internalizado, em que atuam de forma mais efetiva os fatores emocionais e os intelectuais, e outro mais geral, que permite interações mais complexas do indivíduo com o ambiente, mediadas pelos fatores motivacionais e sensoriais. Partindo-se dessa visualização, não há aprendizado sem que todos os fatores estejam envolvidos, em maior ou menor grau, na formação do conhecimento (Greenspan, 1999).

6.2.6 A interface e o ambiente virtualizado

A otimização desses fatores de aprendizagem em um programa de ensino com bases tecnológicas tende a permitir melhor aproveitamento das capacidades cognitivas dos estudantes. Para isso, seria necessária a construção de um ambiente virtualizado em que o aluno fosse motivado a entrar, pudesse expor suas iniciativas e sentir-se bem com isso,

interagisse, com seus sentidos, com o objeto de estudo, e fosse-lhe permitido deduzir comportamentos, regras e relações do objeto com a sua realidade. Também seria importante deixá-lo errar e construir sua própria “base de conhecimentos” sobre o assunto.

Schank propõe diversos ambientes de aprendizagem que se utilizam de estratégias cognitivas variadas objetivando justamente a construção dessas condições ideais de aprendizagem. Suas arquiteturas utilizam recursos que: a) exploram o campo perceptivo; b) trabalham com as emoções, buscando motivar o estudante; c) deixam que o próprio estudante determine seu ritmo de aprendizagem; d) conduzem o aluno a raciocinar e a deduzir regras sobre as situações vivenciadas; e) aproximam o objeto de estudo à realidade do aluno por meio de simulações; e f) orientam o estudante a explorar várias possibilidades, de modo que este construa perspectivas diferentes sobre o que está estudando.

Para uma efetiva exploração de todas as estratégias cognitivas para a aprendizagem, é necessário desenvolver um ambiente que permita as interações entre os fatores. Ou seja, tal ambiente necessita levar em consideração não apenas os fatores em si, mas a sua interação, e permitir *feedback* emocional, sensorial ou ambos, para dar continuidade motivacional à aprendizagem. Convém lembrar que, como defende Piaget, a mudança é o estado natural do ser humano – estamos sempre em processo de equilíbrio, entendendo-a como “uma sucessão de compensações ativas do sujeito em resposta às perturbações exteriores e de uma regulação, ao mesmo tempo, retroativa (sistemas em anel ou *feedback*) e antecipadora, constituindo um sistema permanente de tais compensações” (Piaget, 1966).

Um ambiente de tal natureza pode ser construído também na Internet, com a utilização das tecnologias de inteligência artificial e de comunicação de dados de banda larga. A interatividade hoje característica da Internet permite que o ambiente forneça *feedback* real ao

estudante, gerando desafios, estimulando a curiosidade e oferecendo perspectivas (fatores motivacionais). Também possibilita a geração de problemas complexos automáticos, pertinentes ou complementares ao objeto de estudo do aluno, levando-o a utilizar faculdades lógico-matemáticas e efetuar relações entre as proposições (fatores intelectuais). As possibilidades de contato com outras pessoas, ou com os próprios tutores inteligentes que um ambiente virtualizado como proposto necessariamente teria, dá ao aluno a opção de descontração, de dispersão para outras áreas, de troca de experiências e de alívio da tensão emocional inerente à solução de problemas particularmente difíceis (fatores emocionais). Finalmente, o amplo leque de recursos multimídia disponíveis possibilita a troca de informações entre o ambiente e o aluno utilizando vários sentidos, complementando e reforçando os conteúdos importantes por meio do apelo a várias habilidades mentais⁷² (fatores sensoriais). A execução de um ambiente completo já é possível com as ferramentas atuais, bastando apenas a formação de uma equipe multidisciplinar e de recursos financeiros para o projeto.

As estratégias cognitivas para a aprendizagem podem ser entendidas como uma conjunção de fatores que definem uma variedade de formas de interação responsáveis pela amplitude do conhecimento do indivíduo. O conhecimento desses fatores (emocionais, motivacionais, sensoriais e intelectuais) permite ao educador preparar os conteúdos pedagógicos com mais eficiência e conseguir, efetivamente, melhor aprendizagem para seus alunos.

⁷² Entendemos “habilidades mentais” como as inteligências múltiplas propostas por Gardner (GARDNER, Howard. *Inteligências múltiplas: a teoria na prática*. Trad. Maria Adriana Veríssimo Veronese. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995).

Esses fatores são também importantes no projeto de ambientes virtualizados para a aprendizagem. As experiências de Schank⁷³ demonstram o potencial de uma abordagem natural para o ensino, mas deixa implícita a existências desses fatores. A tomada de consciência de sua existência poderia definir uma nova metodologia de trabalho para a construção desses ambientes, focada não apenas na aprendizagem natural, mas também na interação dos aspectos emocionais, sensoriais, motivacionais e intelectuais para a formação de um ciclo permanente de aprendizagem, em que o indivíduo estaria sendo continuamente motivado, emocionado, desafiado e interpelado sensorialmente, em um espaço de aprendizagem rico em estímulos e em *feedback*.

Pesquisas nessa área poderiam buscar apoio nas teorias de LeDoux, de Goleman e de Greenspan, sobre os aspectos emocionais e motivacionais; nas idéias gestaltistas e nas fundamentações biológicas sobre os sentidos, para um trabalho mais aprofundado sobre os aspectos sensoriais; nos estudos dos cognitivistas, como Piaget, Pinker e Pozo, sobre os aspectos intelectuais; e nas obras de cientistas ligados à inteligência artificial, como Dennet, Schank e Minsky, entre diversos outros.

6.3 Implementação: uma revisão de alguns modelos de inteligência artificial

A implementação de uma arquitetura da criatividade voltada ao aprendizado e à validação do próprio modelo proposto envolve problemas técnicos de análise e de programação. Os recursos computacionais alocados para a base de conhecimentos – aspecto fundamental na criação – devem ser vastos, porém não podem inviabilizar o processamento das informações nem os mecanismos de controle e de regulação. As técnicas, portanto, deverão utilizar uma

⁷³ SCHANK, Roger & CLEARY, Chip. *Engines for education*. New Jersey (USA): Lawrence Erlbaum Associates, 1995.

arquitetura modular e inter-relacionada e operar em camadas e construir funções e operações conforme a necessidade.

As metáforas da inteligência artificial podem indicar algumas alternativas interessantes para a implementação do modelo, utilizando técnicas híbridas de raciocínio baseado em casos, redes neuronais e algoritmos genéticos. Para cada camada do modelo, uma ou mais técnicas podem ser utilizadas, formando um sistema artificial que deverá simular os processos mentais envolvidos na criatividade: percepção da situação, formação do espaço de pesquisa, ampliação do espaço de pesquisa, cruzamento de referências inter e intradomínios, validação da solução e incorporação à base de conhecimentos (universo cognitivo do sistema). Permeando todo o processo, deverá haver mecanismos de controle e regulação, simulando emoções e introduzindo ruídos (caos) para tornar a simulação “legítima”. Trata-se, de fato, de um sistema autopoietico (Maturana e Varela, 1965)⁷⁴, uma vez que a organização interna permite que o sistema se auto-organize e se auto-regule.

Os métodos de inteligência artificial relevantes para a implementação da arquitetura proposta são apresentados, sucintamente, a seguir.

6.3.1 Raciocínio baseado em casos (Case-based reasoning – CBR)

Esta técnica parte do princípio de que o conhecimento humano – fundamentado, principalmente, na memória – é episódico (Schank e Cleary, 1995), e o aprendizado acontece a partir da adaptação de experiências passadas a novas situações, numa relação de analogia. O conceito fundamental dessa técnica é o aprendizado: a partir de experiências antigas, o sistema pode aprender a lidar com novas situações. Em termos práticos, o sistema mantém

⁷⁴ MATURANA, Humberto. *De máquinas e seres vivos: autopoiese – a organização do vivo*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

um repositório de casos e, à medida que novos casos são apresentados, busca em seu repertório casos semelhantes, aplicando na nova situação a experiência antiga.

*“CBR está baseado em um modelo de cognição humana que lida com conhecimento em forma de exemplos de experiências concretas. Surge basicamente da pesquisa na área de Ciência Cognitiva no trabalho de Schank e Abelson em memória dinâmica e o papel central que a lembrança de situações anteriores (episódios e casos) e padrões de situações (em forma de scripts que descrevem informações sobre eventos estereótipos e Pacotes de Organização de Memória (Memory Organization Packets – MOPs), expressando os padrões das situações) têm no aprendizado e na solução de problemas.”*⁷⁵

Esse é justamente o conceito da formação do espaço inicial de pesquisa. Portanto, o raciocínio baseado em casos pode ser utilizado como ferramenta de busca inicial da solução, definindo o escopo da pesquisa e preparando o campo de conhecimentos a ser utilizado.

6.3.2 Redes neuronais

O modelo neurológico humano foi o ponto de partida para essa técnica de inteligência artificial. Essa técnica tenta imitar o funcionamento do cérebro, montando uma rede de neurônios artificiais operando de forma similar aos biológicos, por meio de um programa autodesenvolvido que conecta simultaneamente seus neurônios para emular a maneira que a mente humana desenvolve modelos e teorias sobre o mundo.

O funcionamento dessa rede é fundamentado na capacidade de um neurônio estimular o outro (ativando-o) ou de suprimi-lo (inibindo-o). À medida que se forma uma massa crítica de ativações, a rede gera modelos da situação, baseados nos estímulos recebidos que

⁷⁵ VON WANGENHEIN, Christiane Gresse. *Case-based reasoning: a short introduction* – technical report Iknow002.00E. C3 – Centro de Competência em Raciocínio Baseado em Casos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção,

desencadearam a reação em cadeia. Uma característica da rede neuronal é sua capacidade de “preencher lacunas” nas informações de entrada – em outras palavras, a habilidade de compreender a informação mesmo que ela esteja incompleta. Isso acontece em razão da característica intrínseca da própria rede, que opera conceitualmente por meio de proximidade: se um nó é ativado, provavelmente um nó próximo será ativado, principalmente se, no passado, a ativação tiver acontecido para ambos os nós.

Esse modelo é interessante para implementar, na arquitetura da criatividade, os mecanismos de percepção da situação e de evolução da busca da solução. A partir dos dados inicialmente apresentados sobre o problema, o sistema selecionaria o repositório de conhecimentos conforme a ativação dos neurônios. Dessa forma, o sistema seleciona o domínio e o campo inicial da pesquisa. À medida que a busca no repositório de casos progride, a rede se auto-alimenta e busca “encaixar” a nova percepção (interna) da situação a casos já existentes, mesmo que a sobreposição não seja perfeita. Uma vez esgotados os casos no domínio inicial, a rede ampliaria a busca para outros domínios, procurando, da mesma forma, a sobreposição das situações existentes com as novas situações. Sua função, nesse caso, é a de um mecanismo de analogia.

Thaler (1999) desenvolveu uma rede semelhante, a qual batizou de “Creativity Machine”. Na sua própria descrição,

“Uma rede neuronal, quando negada de contribuições e sujeita a disrupções internas, forma um poderoso mecanismo de pesquisa dentro de qualquer espaço conceitual. Emparelhada com uma rede

‘crítica’, nós formamos o que alguns chamaram a mãe de toda a invenção, a tão falada ‘Creativity Machine’.”⁷⁶

6.3.3 Algoritmos genéticos e programação evolucionária

As redes neuronais, em especial a proposta por Thaler, incorporam características de sistemas dinâmicos complexos, fundamentalmente os ruídos a que estão submetidos tais sistemas. Trata-se de uma tentativa de aproximação dos fenômenos do mundo natural, em que a geometria euclidiana e o determinismo vêm sendo substituídos pelos fractais de Mandelbrot (1977)⁷⁷ e pelo indeterminismo.

Algoritmos genéticos são modelos de máquinas que aprendem cujo comportamento é derivado dos mecanismos evolutivos da natureza⁷⁸. Isso é feito por meio de mutações e *cross-overs* entre cromossomos⁷⁹, em uma competição pelos *espécimes* mais aptos a sobreviver em um ambiente e, por conseqüência, capazes de melhor transmitir seu material genético. A implementação de algoritmos genéticos, em geral, acontece da seguinte forma: a) avalia-se a adequação de todos os indivíduos da população; b) cria-se uma nova população por meio de operações de mutação, *cross-over* e reprodução dos indivíduos avaliados; e c) descarta-se a população antiga e interage-se com a nova.

⁷⁶ THALER, Stephen L. *Creativity machine: executive summary*. Disponível em: <<http://www.imagination-engines.com/cmexecsu.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2001.

⁷⁷ O desenvolvimento do conceito de fractais está diretamente relacionado à teoria dos sistemas dinâmicos, popularmente conhecida como “caos”. Segundo essa teoria, uma pequena alteração nos valores iniciais de um sistema produz grandes diferenças em um curto período de tempo.

⁷⁸ Vale ressaltar que, na natureza ou em sistemas genéticos, a evolução não é um processo diretivo ou com um propósito, mas uma característica aleatória.

⁷⁹ No contexto da inteligência artificial, cromossomos são cadeias de caracteres análogos aos cromossomos de base 4 do próprio DNA humano.

Ao longo do tempo, os conceitos dos algoritmos genéticos evoluíram e deram origem a outras técnicas semelhantes. A mais relevante para o presente estudo é a Programação Evolucionária, que trabalha com o conceito de otimização estocástica colocando sua ênfase nas relações comportamentais entre “pais” e “filhos” ao invés de tentar emular operadores genéticos específicos existentes na natureza. Uma das principais diferenças entre os algoritmos genéticos e a programação evolucionária é a representação. No primeiro, a representação estava limitada a cadeias de caracteres (simulando o genoma), enquanto na segunda a representação é derivada do próprio problema. Uma rede neuronal, portanto, pode ser representada da mesma maneira em que é implementada, pois as operações de mutação não exigem uma codificação linear. Uma outra diferença fundamental é que a programação evolucionária é dirigida – à medida que se aproxima de um objetivo previamente definido, as mutações vão gradualmente diminuindo. Mesmo quando o objetivo não é conhecido inicialmente, ainda assim é possível implementar a programação evolucionária, por intermédio de técnicas em que a distribuição das próprias mutações é objeto de uma mutação que evolui junto com a solução.

Para a criatividade, a programação evolucionária introduz a possibilidade de mecanismos de controle e de regulação na busca da solução. Esses mecanismos seriam responsáveis pela introdução de ruídos (mutações) e facilitariam a transição de domínios e a analogia dos casos armazenados. Também seriam capazes de criar modelos de avaliações das soluções encontradas e testá-las, expandindo a capacidade de aprendizado para domínios desconhecidos pelo sistema. Por fim, os algoritmos genéticos e a programação evolucionária poderiam simular os aspectos emocionais presentes no processo criativo humano,

fornecendo um contexto emocional e de pressões sobre o protótipo. Esse mesmo contexto poderia direcionar a própria busca das soluções, forçando a evolução do sistema.

6.3.4 Integração e camadas

Para a execução do modelo, as camadas devem estar integradas objetivando um mecanismo que permita uma descrição do mundo (situação) coerente com a experiência anterior do próprio sistema. Visualizando essa integração na forma de um diagrama de camadas, uma visão geral possibilita a identificação de quatro camadas.

A primeira camada trata da assimilação da realidade. É o primeiro contato do sistema com a situação em si, mediada pelos mecanismos de entrada (“sentidos”). Nesse ponto, a rede neuronal começa a formar o domínio de trabalho, por meio da ativação de nós em uma rede hipertextual. A assimilação é baseada nas informações disponíveis – quanto melhor o sistema for capaz de assimilar a situação, melhor será a definição do domínio e, por extensão, melhores as condições para a sua ampliação em domínios não relacionados.

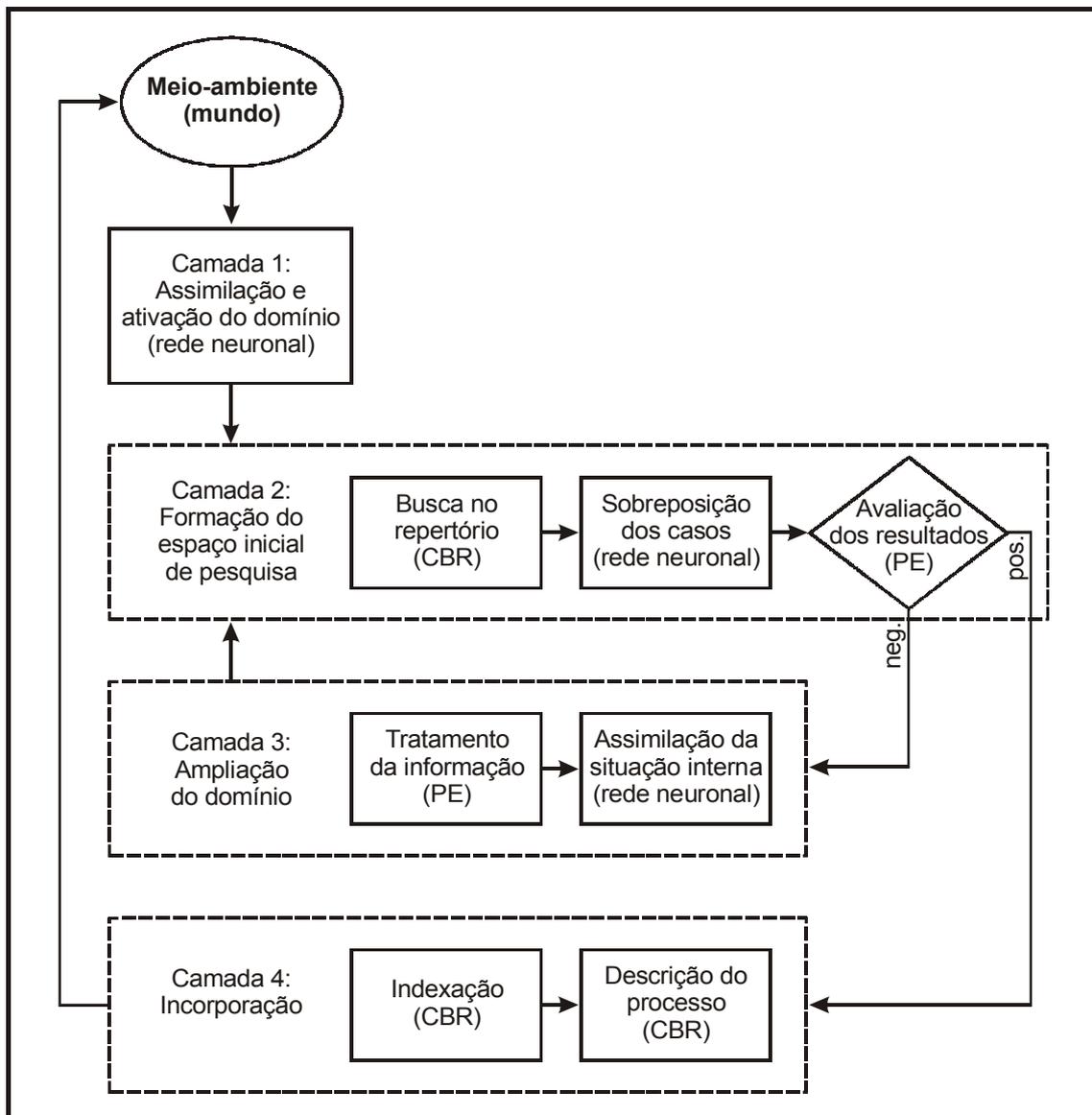
À medida que ocorre a assimilação, o sistema inicia a busca por situações semelhantes em seu repertório de conhecimentos. Para isso, utiliza as técnicas do raciocínio baseado em casos para ativar uma segunda implementação da rede neuronal, sobrepondo a representação de ambas as situações – realidade e casos encontrados – para avaliar a necessidade de evoluir a busca. Esse processamento acontece na segunda camada.

A terceira camada trata da ampliação do domínio para gerar uma nova situação interna. Para isso, pode utilizar duas técnicas de inteligência artificial: a programação evolucionária, para introduzir ruídos e mutações no sistema e criar uma nova situação interna, e a rede

neuronal, para assimilar essa nova situação. A saída dessa camada é devolvida à camada anterior, na forma de um novo caso, para avaliar a sua adequação ao mundo.

Na quarta camada, caso a avaliação seja positiva, o novo caso é consolidado e incorporado ao repertório do sistema, podendo ser reutilizado no futuro. Também é realizada uma descrição do processo, por meio da geração de um relatório, para análise dos procedimentos adotados pelo mecanismo na busca da solução.

Figura 11: Diagrama de camadas para implementação do modelo



Essas camadas representam uma visão geral e, numa futura implementação, necessitam melhor decupagem. Entretanto, o diagrama permite o entendimento dos principais aspectos da arquitetura da criatividade aplicados a um sistema computacional.

6.4 Estratégias para a formação de domínios

O principal fator na construção do protótipo proposto é a questão de como serão formados os domínios e quais as formas de acesso e organização interna do sistema. Sistemas de inteligência artificial que se utilizam do raciocínio baseado em casos dependem largamente de um bom repositório de casos, bem como da forma como esses casos estão indicados. Entretanto, na arquitetura da criatividade utilizada, esses índices devem compor domínios, que serão acessados pela rede semântica para a construção do espaço de pesquisa e devem ser dinâmicos, com capacidade de auto-organização.

Quando foram introduzidos os conceitos para a formação de domínios artificiais utilizando as redes hipertextuais de Lévy, a teoria dos protótipos de Berlin, Kay e Rosch, não se explicitou como esses domínios poderiam se relacionar nem como se auto-organizar. Uma vez criados, esses domínios teriam pouca capacidade de adaptação ao meio. Embora possam incorporar novas classes, uma alteração mais agressiva na sua estrutura – como uma redefinição das classes ou a exclusão de um membro, por exemplo – não é facilitada.

Heylighen (1997) propôs uma metodologia que facilita e amplia as propriedades dos domínios para cobrir essas falhas e, possivelmente, adiciona outras habilidades interessantes, como a incorporação espontânea, pelo sistema, de noções de relevância para os domínios, as classes e os membros. Essa metodologia foi baseada nos trabalhos de Gordon Pask (1975) *apud* Heylighen (1997) e trata da mutua e auto-sustentação de conceitos.

A abordagem tradicional de inteligência artificial assume uma epistemologia de correspondência: o conhecimento é um mapeamento ou uma reflexão do mundo externo. Para cada objeto conceitual (ou símbolo) no universo cognoscente do indivíduo, deverá

haver um objeto correspondente no ambiente físico. Assim, é construído um mapa mental da realidade, com representações pontuais do mundo.

Essa abordagem apresenta uma série de problemas. Um dos principais refere-se à própria constituição desse mapa mental e de sua relação com a representação simbólica. Uma vez que a construção do mapa é feita a partir da percepção, e esta é interna ao sistema cognitivo, como realmente ancorar no mundo físico essas representações? Em outras palavras, como garantir que o mapeamento realmente corresponde à realidade? Na verdade, esse problema é uma extensão do princípio do indeterminismo de Heisenberg ou do teorema de Gödel, ambos afirmando que nenhuma linguagem pode descrever completamente sua própria descrição ou seus processos de interpretação. Em razão dessa impossibilidade de representação exata da realidade, modelos de inteligência artificial tendem a incluir a arbitrariedade de seus desenvolvedores nas definições do mundo.

Essa limitação não seria tão séria caso os modelos pudessem aprender ou se adaptar. Entretanto, o modelo da epistemologia da correspondência deixa poucas alternativas nesse sentido, já que é impossível criar novos símbolos que não estejam ancorados no mundo exterior (um mundo a que o sistema não tem acesso direto) nem é permitida a derivação dos símbolos já existentes. Todos os símbolos devem ser introduzidos pelo desenvolvedor. Como resultado, esses modelos são estáticos, absolutistas e arbitrários.

Como alternativa, uma nova epistemologia vem surgindo e ganhando aceitação entre vários cibernicistas (von Foerster, 1996 *apud* Heylighen, 1997) e entre os teóricos da autopoiese (Maturana e Varela, 1965): o construtivismo. Nela, o conhecimento não é um mapeamento passivo da realidade, mas uma construção ativa e dinâmica do próprio sistema,

cuja finalidade não é refletir a realidade, mas auxiliar o sujeito a adaptar-se a ela segundo suas experiências subjetivas.

*“Isso significa que o sujeito tentará construir modelos que são coerentes com os modelos que ele já possui, ou que recebe pelos sentidos ou pela comunicação com os outros. Uma vez que os modelos são comparados apenas com outros modelos, a falta de acesso à realidade exterior não mais constitui um obstáculo ao desenvolvimento. Em uma epistemologia como essa, o conhecimento não é justificado ou ‘verdadeiro’ porque corresponde com uma realidade exterior, mas porque é coerente com outros conhecimentos.”*⁸⁰

O problema passa a ser outro, qualitativamente simples: a definição de coerência. Sob esse aspecto, o construtivismo também oferece respostas satisfatórias. O ponto principal para definir coerência é a construção do modelo. Essa construção normalmente é entendida como um processo de tentativa-e-erro, com a geração de diversos esquemas⁸¹ e a retenção daqueles que mais se adequam ao corpo de conhecimentos já existente. Trata-se de um processo mais seletivo e menos instrucionista.

Os critérios para seleção dos melhores esquemas são sociais, individuais e físicos⁸², e conduzem a uma forma de coerência com a verdade interna do sistema. A partir desse ponto, o desafio para os construtivistas era demonstrar como a construção dinâmica de modelos poderia gerar a coerência estática interna. A resposta encontrada por Heylighen foi a metáfora da auto-sustentação: os símbolos não necessitam de uma fundação física suportada

⁸⁰ Rescher, 1973; Thagard, 1989 *apud* HEYLIGHEN F. Bootstrapping knowledge representations: from entailment meshes via semantic nets to learning, **International Journal of Human-Computer Studies** [submitted], 1997, p. 4.

⁸¹ Esquemas aqui entendidos como modelos de interpretação.

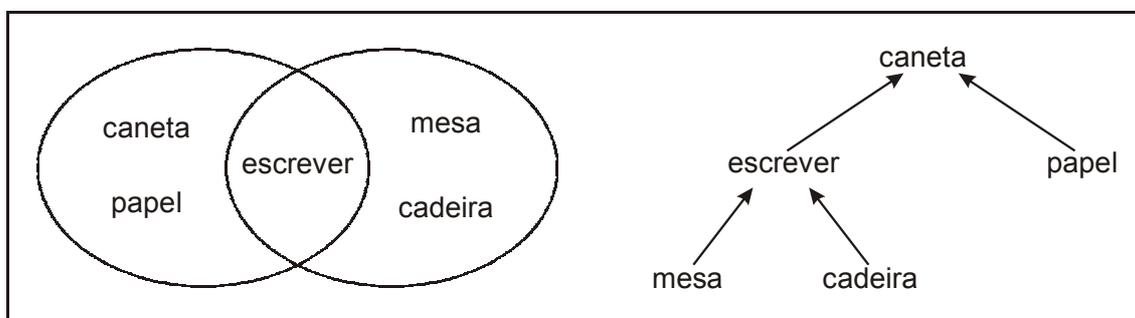
⁸² Critérios sociais enfatizam a consensualidade entre os membros de uma comunidade; critérios individuais são aqueles em que o próprio indivíduo tenta encontrar coerência com seus próprios esquemas preexistentes; e critérios físicos ressaltam o papel do mundo físico na eliminação dos esquemas inadequados.

na realidade para construir modelos, uma vez que coerência é uma relação de mão-dupla. Em outras palavras, os símbolos suportam uns aos outros.

*“Modelo A é utilizado para ajudar a construir o Modelo B, enquanto B é utilizado para ajudar a construir A. (...) o efeito em cadeia é que mais (complexidade, significado, qualidade,...) é produzido a partir de menos. Essa é a marca da auto-organização: a criação de estrutura sem a necessidade de intervenção externa.”*⁸³

Heylighen desenvolveu uma implementação dessa epistemologia por meio de malhas de vinculações (*entailment meshes*), que são esquemas gráficos interpretados como expressões formais em linguagens de programação. Esse conceito é muito semelhante às redes hipertextuais de Lévy e foi rapidamente ampliado para redes de vinculações (*entailment nets*), aumentando a sua abrangência.

Figura 12: Duas maneiras de representar as redes de vinculações de Heylighen



Fonte: HEYLIGHEN F. Bootstrapping knowledge representations: from entailment meshes via semantic nets to learning, *International Journal of Human-Computer Studies* [submitted], 1997, p. 6.

⁸³ HEYLIGHEN F. Bootstrapping knowledge representations: from entailment meshes via semantic nets to learning, *International Journal of Human-Computer Studies* [submitted], 1997, p. 6.

Para permitir a criação de novos símbolos sem a sobreposição a símbolos antigos, Heylighen formulou o *axioma da auto-sustentação*⁸⁴. Assim, dentro da maior riqueza das redes de vinculações, torna-se menos provável a ocorrência de ambigüidades, uma vez que tanto os valores de entrada quanto os de saída de um tópico devem ser necessariamente diferentes.

Outra contribuição das redes de vinculações definidas por Heylighen trata da transformação das próprias relações entre os tópicos da rede a nós. Dessa forma, as ligações passam também a obedecer ao axioma de auto-sustentação, e a auto-organização do sistema continua preservada sem a necessidade de recorrer à realidade externa.

*“O primeiro passo é propor uma interpretação geral dos nós e ligações existentes em uma rede de vinculações. (...) Como nós são definidos pela maneira como são distinguidos, é natural interpretá-los como um sistema cognitivo básico de distinções (...), isto é, como classes de fenômenos que são separadas ou distintas por um observador de todos os outros fenômenos que não pertencem à classe. (...) Uma distinção pode ser vista como a mais fundamental unidade de cognição.”*⁸⁵

Com a aplicação dessa definição ao longo dos vínculos da rede, caminha-se a distinções cada vez mais genéricas⁸⁶. No topo da rede, estarão as classes fundamentais ou primitivas, que representam as bases do conhecimento da realidade. Essas primitivas acabam por formar uma ontologia⁸⁷ de distinções, que podem ser interpretadas como nós básicos na rede, permitindo a classificação de outros nós.

⁸⁴ “Dois conceitos são distintos se, e apenas se, seus valores de entrada e de saída forem distintos”. HEYLIGHEN F. Bootstrapping knowledge representations: from entailment meshes via semantic nets to learning, **International Journal of Human-Computer Studies [submitted]**, 1997, p. 11.

⁸⁵ HEYLIGHEN F. Bootstrapping knowledge representations: from entailment meshes via semantic nets to learning, **International Journal of Human-Computer Studies [submitted]**, 1997, p. 14.

⁸⁶ O cachorro é um carnívoro, que é um mamífero, que é um vertebrado, que é um animal, que é um organismo, que é um objeto.

⁸⁷ A palavra “ontologia” é utilizada em seu sentido filosófico clássico, isto é, como um conjunto permitido de tipos de conceitos.

Assim como na rede hipertextual de Lévy, a rede de vinculações de Heylighen está sujeita às mesmas propriedades de hereditariedade conforme proposta por Minsky (1975) *apud* Heylighen (1997) em seu conceito de *frames*⁸⁸. Com a utilização da herança, a rede de vinculações fica livre para fazer o tratamento de erros (casos especiais) de forma individualizada, tratando-os como exceções à regra ou como, caso haja casos suficientes para atingir uma massa crítica, uma nova classe de objetos distintos.

Esse entendimento de relações de auto-sustentação é coerente com o conceito de categorias proposto por Berlin, Kay e Rosch, citado anteriormente, e fornece um arcabouço teórico formal para a implementação de um domínio cognitivo como o necessário para a arquitetura da criatividade. Esse domínio, por sua vez, funcionaria como índice para o repertório de conhecimentos do sistema, que poderia ser implementado mais facilmente por meio de uma boa plataforma de banco de dados.

⁸⁸ Para Minsky, um *frame* consiste em um conceito central, que se relaciona com outros por meio de pares de “atributo-valor”. Todos os atributos – e, às vezes, os valores – de um conceito maior são herdados por um conceito definido a partir dele, e apenas os atributos específicos daquele conceito são acrescentados.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Síntese da pesquisa

Foram apresentadas diversas definições, teorias e técnicas para o entendimento da criatividade. A partir de uma visão histórica, foram apresentadas as possibilidades de integração da criatividade à inteligência artificial, enfatizando a divergência dos aspectos de crença e de *performance* e a maneira pela qual esses dois aspectos poderiam convergir para a construção de um modelo que pudesse gerar criatividade e ser demonstrado formalmente. Para isso, utilizou-se de uma abordagem pessoal e contextual da criatividade como fruto da sociedade histórica em que se situa; da psicologia cognitiva, que busca construir modelos para o funcionamento mental a partir de premissas psicológicas; e dos sistemas computacionais, por meio da simulação desses modelos em sistemas de inteligência artificial.

As relações levantadas entre contexto histórico, cognição e inteligência artificial, quando se busca a construção de uma arquitetura da criatividade possível de implementação em um escopo limitado à solução de problemas, formam a fundamentação teórica inicial sobre a qual é possível a construção de uma arquitetura cognitiva da criatividade.

Partindo-se dessa premissa, a seguir for sugerida tal arquitetura, integrando os aspectos de:

- a) domínio;
- b) campos de problemas;
- c) universo cognitivo;
- d) emoções; e

e) trânsito entre domínios por meio da troca de espaços de pesquisa.

A arquitetura apresentada parece resolver os aspectos mais relevantes da criatividade como explicação para uma metodologia de resolução de problemas. É relevante salientar que a arquitetura proposta permite a ampliação do entendimento da criatividade para campos não previstos inicialmente, como a arte, por meio de uma análise mais detalhada da sua dinâmica e do processo de transferência “espontânea” de domínios.

Para fornecer um arcabouço teórico mais robusto no entendimento da estruturação dos domínios, foi aprofundada a conceituação de cognição e de domínios, propondo a conciliação das teorias de categorias e protótipos e de redes hipertextuais na possibilidade de construir sistemas que permitem a elaboração de domínios cognitivos em sistemas digitais. Para isso, sugere-se a possibilidade de uma implementação em camadas como mecanismos de tratamento das informações e ilustra-se como os estudos realizados na nova robótica podem ser úteis nesse sentido. Por fim, demonstra-se como a inteligência e o comportamento inteligente dependem de bases de conhecimentos e de relações entre essas bases, sendo que computadores e seres humanos compartilham bases de conhecimento sustentadas em *hardwares* diferentes, impondo a obrigatoriedade da aproximação do sistema cognitivo humano pela sua simulação.

Todos estes conceitos formam a base para a proposição dos princípios de um protótipo que poderá implementar, em camadas, a arquitetura da criatividade defendida, conforme apresentado na figura 11. Para tanto, prevê a possibilidade da interação desse sistema com o ser humano e analisa os fatores pedagógicos envolvidos em tal relação, concluindo que deverá haver uma interação entre motivação, intelecto, sensação e emoção para maximizar as oportunidades de aprendizado – tanto humano quanto computacional. Em seguida,

apresenta argumentos para a utilização de três técnicas de inteligência artificial na implementação de camadas e módulos específicos (raciocínio baseado em casos, programação evolucionária e redes neuronais), integrando-as em uma implementação por camadas. Finalmente, baseado nas pesquisas de Heylighen, propõe uma estratégia para a formação de domínios que segue os princípios de auto-organização da teoria da autopoiese, de Maturana e Varela, que leva em conta o aprendizado e a reestruturação de domínios por meio de redes de vinculações.

As direções apontadas para a implementação do protótipo permitem um direcionamento inicial para as pesquisas nessa área, fornecendo os subsídios para um estudo metódico dos processos da criatividade como resolução de problemas por meio do trânsito interdomínios. O acompanhamento da evolução de aprendizado do sistema – que, necessariamente, ocorreria ao longo de um período de tempo relativamente longo para que os domínios fossem bem estruturados – poderá oferecer novos *insights* a respeito dos processos de aprendizado e de criatividade humana, uma vez que sua estruturação e sua operação partem de princípios cognitivos humanos.

7.2 Comprovação da hipótese e consecução dos objetivos

A pesquisa teórica realizada foi capaz de produzir, com base nos conceitos das ciências cognitivas, uma explicação para a criatividade, resultando em um modelo apresentado na figura 4. As ferramentas de inteligência artificial podem implementar esse modelo na forma de uma arquitetura cognitiva da criatividade, simulando-a em um sistema computacional nos moldes do protótipo sugerido pela figura 11. A explicitação das relações interdomínios, entretanto, permanece por ser comprovada, uma vez que o sistema computacional delineado

ainda está por ser concretizado. Sob a perspectiva construtivista, há razões para especular que:

- a) a estruturação de domínios conduzirá o sistema a formar um amplo repositório de conhecimentos;
- b) a utilização de redes de vinculações auto-organizáveis pode criar as condições necessárias para que esse repositório comporte-se como um sistema autopoietico;
- c) a implementação de uma interface ergonômica e orientada ao usuário permitirá acompanhar o desenrolar das atividades internas do sistema, possibilitando o estudo das condições de trabalho do sistema e, por extensão, dos processos criativos envolvidos.

Portanto, fica comprovada, em parte, a hipótese básica, uma vez que, a partir dos subsídios da ciência cognitiva, foi possível a construção de um modelo teórico da criatividade. Uma vez implementado o protótipo, poderá ser verificada a comprovação integral da hipótese.

Fica também comprovada a primeira hipótese secundária: os conceitos cognitivos de domínios, de categorias e de protótipos permitem a fundamentação teórica necessária para a construção do modelo. Como o protótipo ainda está por ser implementado, fica ainda passível de comprovação a segunda hipótese secundária, qual seja a confirmação da possibilidade de implementação do protótipo a partir das técnicas de inteligência artificial.

De forma geral, os objetivos da pesquisa foram alcançados, quais sejam:

- foi elaborado um modelo de criatividade passível de aplicação em sistemas computacionais;

- foram descritos os processos cognitivos relacionados à criação como metodologia de solução de problemas;
- foi esclarecida a formação de domínios cognitivos com referência à criatividade;
- foi delineada uma arquitetura computacional para a construção de um protótipo que permita explorar as potencialidades do modelo proposto.

7.3 Implicações da pesquisa

7.3.1 Educacionais

Sob a perspectiva educacional, o pensamento criativo está nitidamente vinculado aos modelos existentes. A escola, durante muito tempo, investiu sua prática pedagógica no “ensino bancário”, conforme evidencia Paulo Freire. O ensino superior, em especial, apresenta tentativas de recuperação do poder criativo, porém limita sua visão a uma área de conhecimento restrita, pouco se interessando na investigação dos processos que permitem a completa assimilação do *processo* criativo. Trata-se da “criatividade pronta”, com respostas predefinidas aplicadas a problemas-padrão.

A sistemática do modelo de ensino superior passa por três pontos fundamentais: a instituição, o professor e o aluno. As instituições esbarram nas suas culturas organizacionais, que tendem a ser conservadoras, a valorizar o conhecimento clássico e a zelar pela sua manutenção. O professor, por sua formação e postura, apresenta-se de forma inconsciente como detentor final do conhecimento, mesmo que tenha consciência de que ninguém sabe tudo. O aluno, por todo o processo educacional a que foi submetido, vê-se limitado a

fórmulas prontas – “receitas de bolo”, como se diz em sala de aula – e, por isso, preguiçoso para buscar novas alternativas.

A maturação dessa sistemática, por meio do entendimento e da aplicação do modelo de criatividade proposto, é inerente ao próprio processo da vida – uma vez exposto a ela, o aluno não tem alternativa a não ser o desenvolvimento do seu potencial. É como uma criança que aprende a andar: quando está pronta para dar os primeiros passos, não há quem a detenha.

Para vencer esses obstáculos e implementar uma mentalidade efetiva de criatividade no ensino superior, é necessário um trabalho que aborde individualmente os três aspectos citados e, paralelamente, possibilite a integração de todos os envolvidos. É preciso que o processo seja percebido como um todo, para que se possam visualizar os objetivos e os resultados finais. A arquitetura cognitiva da criatividade oferece uma visão sistêmica do processo, integrando a teoria com a sua aplicação prática, sem perder o foco no objetivo principal: contribuir para a formação de uma cultura de criatividade.

7.3.2 Empresariais

Sob a perspectiva empresarial, a implementação do modelo da criatividade apresentado permite o estudo dos problemas internos de uma organização, buscando soluções em domínios que, a princípio, não fariam parte do campo de pesquisa inicial de dirigentes e executivos. Esses problemas encontram-se nos âmbitos de processos organizacionais, *marketing*, produção, posicionamento e, principalmente, estratégia. Uma vez estruturado o domínio inicial necessário, o modelo seria alimentado com a experiência organizacional e

estabeleceria ligações com outros domínios previamente existentes, oferecendo sugestões para a abordagem dos problemas de forma diferenciada.

Essa implementação pode ser feita tanto por meio de sistemas de inteligência artificial quanto pela aplicação “humana” do modelo – ou seja, pela utilização consciente das técnicas de criatividade apresentadas (trânsito interdomínios).

7.3.3 Científicas e computacionais

A implementação do modelo por meio de um sistema computacional poderá proporcionar notáveis avanços científicos no entendimento do pensamento criativo, uma vez que permitirá um estudo metodológico dos processos envolvidos na criatividade. A própria implementação do modelo em um sistema de inteligência artificial levantará questões importantes nos âmbitos das ciências da computação (em relação a técnicas de programação, estruturação de bancos de dados, recuperação de informações e redes neuronais) e da ciência cognitiva (uma vez que o modelo implementado permitirá o acompanhamento do processamento ativo do sistema em sua busca de auto-regulação). Além disso, há que se considerar as implicações decorrentes da aplicação do sistema em pesquisas científicas, na busca de soluções originais de problemas. Essas questões, por si mesmas, já trazem a necessidade de novas pesquisas.

7.4 Trabalhos Futuros

É interesse desta dissertação que essas considerações possam originar novas pesquisas no sentido de ampliar os conceitos e os usos das tecnologias de inteligência artificial no estudo da criatividade em todos os níveis. Para isso, alguns pontos interessantes foram levantados,

resultando em um esquema para a construção de uma arquitetura da criatividade. O transporte dessa arquitetura para a implementação real de sistemas de inteligência artificial deve responder a questões técnicas, não abordadas nesta dissertação, que tratam de aspectos como:

- formação dos campos e dos domínios;
- interação com o usuário;
- respostas emocionais do sistema;
- formulação dos estímulos emocionais;
- implementação do sistema.

Outros aspectos como a função da memória, os processos biológicos intrínsecos à criação humana e a comunicação da criação não foram abordados e poderão constituir, cada um deles, novas linhas de pesquisa para a ampliação e correção do modelo. Essas questões – e outras que surgirão da experiência empírica com a arquitetura proposta – certamente conduzirão a um aprofundamento e a uma revisão dos conceitos e métodos apresentados, podendo até mesmo prová-los inadequados para a simulação da criatividade humana.

FONTES BIBLIOGRÁFICAS

A droid for all seasons. **NewScientist**, 13 de maio de 2000. Disponível em:

<<http://www.newscientist.com/nsplus/insight/ai/droidforall.html>>. Acesso em: 21 de março de 2001.

AKMAN, Varol & PAKKAN, Mujdat. Nonstandard Set Theories and Information Management. **Journal of Intelligent Information Systems: Integrating Artificial Intelligence and Database Technologies** 6(1): 5-31, 1996. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/04/65/cog00000465-00/jiis.ps>>. Acesso em: 8 de abril de 2001.

AKMAN, Varol & SURAV, Mehmet. Contexts, Oracles, and Relevance. In Buvac, Sasa, Eds. **Proceedings AAAI-95 Fall Symposium on Formalizing Context**, pages 23-30, Cambridge, Massachusetts, 1995. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/04/73/cog00000473-00/aaai.ps>>. Acesso em: 8 de abril de 2001.

AKMAN, Varol & SURAV, Mehmet. Steps toward Formalizing Context. **AI Magazine** 17(3): 55-72, 1996. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/04/64/cog00000464-00/aimag.ps>>. Acesso em: 8 de abril de 2001.

AKMAN, Varol & SURAV, Mehmet. The Use of Situation Theory in Context Modeling. **Computational Intelligence: An International Journal** 13(3): 427-438, 1997. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/04/60/cog00000460-00/cipaper.ps>>. Acesso em: 8 de abril de 2001.

ALDEN, Jay. *A trainer's guide to web-based instruction*. Alexandria (USA): ASTD, 1998.

ALENCAR, Eunice M. L. Soriano de. *Criatividade*. Brasília: Edunb, 1993.

ALENCAR, Eunice M. L. Soriano de. *O processo da criatividade*. São Paulo: Makron, 2000.

ANTUNES, Celso. *As inteligências múltiplas e seus estímulos*. 3. ed. Campinas: Papirus, 1998. (Coleção Papirus Educação).

ANTUNES, Celso. *Jogos para estimulação das múltiplas inteligências*. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1999.

BARREL, John. *Critical issue: working toward student self-direction and personal efficacy as educational goals*. North Central Regional Educational Laboratory. Disponível em:

<<http://www.ncrel.org/sdrs/areas/issues/students/learning/lr200.htm>>. Acesso em: 17 de junho de 2000.

BARRETO, Roberto Menna. *Criatividade em propaganda*. São Paulo: Summus, 1982

BARRETO, Roberto Menna. *Criatividade no trabalho e na vida*. São Paulo: Summus, 1997

BETZ, Christian. Information generation and navigation in problem based training systems. **International Workshop on Adaptive and Intelligent Web-based educational Systems**, 19 de junho, Montreal, Canadá, 2000. Disponível em: <<http://virtcampus.cl-ki.uni-osnabrueck.de/its-2000/paper/betz/ws2-paper-2.htm>>. Acesso em: 30 de março de 2001.

Beyond words. **New Scientist**, 10 de julho de 1999. Disponível em:

<<http://www.newscientist.com/ns/19990710/beyond.html>>. Acesso em: 23 de março de 2001

BITTENCOURT, Guilherme. *Inteligência artificial: ferramentas e teorias*. Florianópolis: Ed. UFSC, 1998.

BOTELLA, Luis, GALLIFA, Josep, FEIXAS, Guillem, VILLEGAS, Manuel et all. *Constructivism and discourse processes research group*. Disponível em: <<http://www.infomed.es/constructivism/>>. Acesso em: 6 de maio de 2001.

BROOKS, R. A. *How to build complete creatures rather than isolated cognitive simulators*. *Architectures for Intelligence*, K. VanLehn (ed)}, Erlbaum, Hillsdale, NJ, Fall 1989, pp. 225--239. Disponível em:

<<http://www.ai.mit.edu/people/brooks/papers/how-to-build.pdf>>. Acesso em: 28 de outubro de 2000.

BROOKS, R. A. Intelligence without representation. **Artificial Intelligence Journal** (47), 1991, pp. 139--159. Disponível em: <<http://www.ai.mit.edu/people/brooks/papers/representation.pdf>>. Acesso em: 28 de outubro de 2000.

BROOKS, R. A., COEM, M. DANG, D. DeBONET, J., KRAMER, J. LOZANO-PEREZ, T. MELLOR, J., POOK, P. STAUFFER, C. STEIN, L., TORRANCE, M & WESSLER, M. The intelligent room project. **Proceedings of the Second International Cognitive Technology Conference (CT'97)**, Aizu, Japan, August 1997. Disponível em: <<http://www.ai.mit.edu/people/brooks/papers/aizu.pdf>>. Acesso em: 28 de outubro de 2000.

BROOKS, R.A. & STEIN, L. A. Building brains for bodies. **Autonomous Robots**, Vol. 1, No. 1, November 1994, pp. 7--25. Disponível em: <<http://www.ai.mit.edu/people/brooks/papers/brains.pdf>>. Acesso em: 28 de outubro de 2000.

BROOKS, R.A. Prospects for human level intelligence for humanoid robots. **Proceedings of the First International Symposium on Humanoid Robots (HURO-96)**, Tokyo, Japan, October 1996. Disponível em: <<http://www.ai.mit.edu/people/brooks/papers/prospects.pdf>>. Acesso em: 28 de outubro de 2000.

CAPUANO, Nicola, MARSELLA, Marco & SALERNO, Saverio. ABITS: an agent based intelligent tutoring system for distance learning. **International Workshop on Adaptive and Intelligent Web-based educational Systems**, 19 de junho, Montreal, Canadá, 2000. Disponível em: <<http://virtcampus.cl-ki.uni-osnabrueck.de/its-2000/paper/capitano/ws2-paper-3.htm>>. Acesso em: 30 de março de 2001.

CAVE, Charles. *Creativity web*. Disponível em: <<http://members.ozemail.com.au/~caveman/Creative/>>. Acesso em: 28 de abril de 2001.

CENTRO DE INFORMAÇÕES MULTIEDUCAÇÃO. *Pressupostos da teoria construtivista de Piaget*. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/multirio/cime/ME01/ME01_030.html>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2000. Autor desconhecido.

CHALMERS, David J. *The conscious mind: in search of a fundamental theory*. New York: Oxford University Press, 1996.

CHOMSKY, Noam. *New horizons in the study of language and mind*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

CLANCEY, William J. Bartlett's view of the group as a psychological unit. **AAAI Fall Symposium on Knowledge and Action at Social and Organizational Levels**, Asilomar, CA, AAAI Press, p. 20-22, 1991. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/06/66/cog00000666-00/110.htm>>. Acesso em: 30 de março de 2001.

CLANCEY, William J. Representations of knowing: in defense of cognitive apprenticeship – a response to Sandberg & Wielinga. **Journal of AI in Education**, vol. 3, p. 139-168, 1992. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/02/91/cog00000291-00/121.htm>>. Acesso em: 30 de março de 2001.

CLANCEY, W.J. A tutorial on situated learning. **Proceedings of the International Conference on Computers and Education (Taiwan)** Self, J. (Ed.) Charlottesville, VA: AACE. 49-70, 1995. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/03/23/cog00000323-00/139.htm>>. Acesso em: 8 de abril de 2001.

CLANCEY, W.J. Practice cannot be reduced to theory: Knowledge, representations, and change in the workplace. **Organizational Learning and Technological Change**, S. Bagnara, C. Zuccermaglio and S. Stucky, (eds.) Berlin: Springer. 16-46. Papers from the NATO Workshop, Siena, Italy, September 22-26, 1992.

Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/03/22/cog00000322-00/137.htm>>.

Acesso em: 8 de abril de 2001.

CLANCEY, W.J. The knowledge level reinterpreted: Modeling socio-technical systems. **K. M. Ford & J. M. Bradshaw (eds.) Knowledge Acquisition as Modeling**. New York: John Wiley & Sons, 1993. 33-50.

Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/03/12/cog00000312-00/125.htm>>.

Acesso em: 10 de abril de 2001.

CLEGG, Brian & BIRCH, Paul. *Criatividade: modelos e técnicas para geração de idéias em mercados altamente competitivos*. São Paulo: Makron, 2000.

COELHO, Helder. *Inteligência artificial em 25 lições*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1995.

COELHO, Helder. *Inteligência artificial: o balanço da década de 80*. Lisboa: Caminho, 1990.

Computing device to serve as basis for biological computer. **ScienceDaily Magazine**, 2 de julho de 1999.

Disponível em: <<http://www.sciencedaily.com/print/1999/07/990702080524.htm>>. Acesso em: 22 de março de 2001.

D'AGORD, Marta et al. *Teoria da equilíbrio – a virada na teoria piagetiana na década de 70*. Disponível em:

<http://www.psico.ufrgs.br/lec/repositorio/posinfor/equilib/index.htm> (28/fev/2000).

DAMÁSIO, António R. *O erro de Descartes: emoção, razão e o cérebro humano*. São Paulo: Cia das Letras, 1996.

DAMÁSIO, António. *O mistério da consciência: do corpo e das emoções ao conhecimento de si*. São Paulo: Cia das Letras, 2000.

DANIELS, Harry (org). *Vygotsky em foco: pressupostos e desdobramentos*. Campinas: Papirus, 1994.

DARTNALL, T. AI, creativity, representational redescription, intentionality, mental life: an emerging picture.

Artificial intelligence & creativity: papers from the 1993 spring symposium: technical report SS-93-01.

California (USA): AAAI Press, 1993.

DAVENPORT, Thomas H. *Ecologia da informação: por que só a tecnologia não basta para o sucesso na era da informação*. São Paulo: Futura, 1998.

DEL NERO, Henrique Schützer. *O sítio da mente: pensamento, emoção e vontade no cérebro humano*. São Paulo: Collegium Cognitio, 1997.

- DENNETT, Daniel C. *Kinds of minds: towards an understanding of consciousness*. New York: Basic Books, 1996.
- DENNETT, Daniel C. Linguagem e inteligência. **Artificial intelligence & creativity: papers from the 1993 spring symposium: technical report SS-93-01**. California (USA): AAAI Press, 1993.
- DUAILIBI, Roberto. *Criatividade & marketing*. São Paulo: McGraw-Hill, 1990
- FIALHO, Francisco. *Uma introdução à engenharia do conhecimento*. Florianópolis: UFSC, 1999 (apostila).
- FRANCO, Marcelo Araujo. *Ensaio sobre as tecnologias digitais da inteligência*. Campinas: Papyrus, 1997.
- FREIRE, Paulo. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra, 1996.
- GABORA, Liane. The beer can theory of creativity. **Creative Evolutionary Systems**, P. Bentley & D. Corne, Eds. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/09/76/cog00000976-00/beercan.htm>>. Acesso em: 30 de março de 2001.
- GABORA, Liane. Toward a theory of creative inklings. **Art, Technology, and Consciousness**, R. Ascott, Ed, Intellect Press. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/08/56/cog00000856-00/inklings.htm>>. Acesso em: 30 de março de 2001.
- GABORA, Liane. Weaving, bending, patching, mending, the fabric of reality: a cognitive science perspective on worldview inconsistency. **Foundations of Science**, vol. 3, fevereiro de 1999, p. 395-428. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/04/08/cog00000408-00/index.htm>>. Acesso em: 30 de março de 2001.
- GADOTTI, Moacir. *História das idéias pedagógicas*. 7. ed. São Paulo: Ática, 1999.
- GADOTTI, Moacir. *Perspectivas atuais da educação*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.
- GALVÃO, Marcelo Marques. *Criativamente*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.
- GANASCIA, Jean-Gabriel. *Inteligência artificial*. São Paulo: Ática, 1997.
- GARDNER, Howard. *Inteligências múltiplas: a teoria na prática*. Trad. Maria Adriana Veríssimo Veronese. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.
- GARDNER, Howard. *Mentes que criam: uma anatomia da criatividade observada através das vidas de Freud, Einstein, Picasso, Stravinsky, Eliot, Graham e Gandhi*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996

GHISELIN, Brewster. *The creative process*. Berkeley: University of California Press, 1952.

GINSBERG, Mathew L. Computers, games and the real world: more than just competing with people, game-playing machines complement human thinking by offering alternative methods to solving problems. **Scientific American – Exploring Intelligence**, 1998. Disponível em: <<http://www.scian.com/1998/1198intelligence/1198ginsberg.html>>. Acesso em: 22 de março de 2001.

GIORA, Regina Célia, GONZÁLEZ-REY, Fernando, LENZONI, Ana Maria, LANE, Silvia T. Maurer & ARAÚJO, Yara (orgs). *Arqueologia das emoções*. Petrópolis, RJ: Vozes, 1999.

GLYNN, Ian. *An anatomy of thought: the origin and machinery of the mind*. New York: Oxford University Press, 1999.

GOLEMAN, Daniel. *Inteligência emocional: a teoria revolucionária que redefine o que é ser inteligente*. 76. ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 1995.

GRACIANO, Miriam Monteiro de Castro. *A teoria biológica de Humberto Maturana e sua repercussão filosófica*. Belo Horizonte, 1997. 205f. Dissertação (mestrado em filosofia). UFMG FAFICH.

GRAVES, William H. *The dot.xxx challenge in the e-cology of e-learning*. Disponível em: <<http://www.as1.ipfw.edu/2000tohe/keynote.htm>>. Acesso em: 14 de novembro de 2000.

GREENFIELD, Susan A. *The human brain: a guided tour (science master series)*. New York (USA): Basic Books, 1997.

GREENSPAN, Stanley I. *A evolução da mente: as origens da inteligência e as novas ameaças a seu desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Record, 1999.

GUIMARÃES, Nuno, CHAMBEL, Teresa & BIDARRA, José. From cognitive maps to hypervideo: supporting flexible and rich learner-centred environments. **Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer-Enhanced Learning**. Disponível em: <<http://imej.wfu.edu/articles/2000/2/03/index.asp>>. Acesso em: 18 de março de 2001.

HALFORD, G., WILES, J., HUMPHREY, M. S. & WILSON, W. H. *Parallel distributed processing approaches to creative reasoning*. **Artificial intelligence & creativity: papers from the 1993 spring symposium: technical report SS-93-01**. California (USA): AAAI Press, 1993.

HARVARD BUSINESS REVIEW. *Gestão do conhecimento*. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

HEIFT, Trude & NICHOLSON, Devlan. Enhanced server logs for intelligent, adaptive web-based systems. **International Workshop on Adaptive and Intelligent Web-based educational Systems**, 19 de junho, Montreal, Canadá, 2000. Disponível em: <<http://virtcampus.cl-ki.uni-osnabrueck.de/its-2000/paper/heift/ws2-paper-4.htm>>. Acesso em: 30 de março de 2001.

HEYLIGHEN F. Bootstrapping knowledge representations: from entailment meshes via semantic nets to learning, **International Journal of Human-Computer Studies [submitted]**, 1997. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/04/58/cog00000458-01/BootstrappingPask.html>>. Acesso em: 8 de abril de 2001.

HOFSTADTER, Douglas R. *Gödel, Escher, Bach: an eternal golden braid – twentieth-anniversary edition*. New York: Basic Books, 1999.

HÜHNE, Leda Miranda (organizadora); GARCIA, Ana Maria [et al.]. *Metodologia científica: caderno de textos e técnicas*. Rio de Janeiro: Agir, 1997

ISBISTER, Katherine. *Perceived intelligence and the design of computer characters*. **The lifelike computer characters conference**, 28 de setembro de 1995, Snowbird, Utah. Disponível em: <<http://www.katherineinterface.com/lccpaper.html>>. Acesso em: 23 de março de 2001.

JOHNSON, Steven. *Interface culture: how new technology transforms the way we create and communicate*. New York: Harperedge, 1997.

JOHNSON-LAIRD, Philip N. *The computer and the mind, an introduction to cognitive science*. Cambridge, Harvard, 1988.

KAO, John J. *Jamming: a arte e a disciplina da criatividade na empresa*. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

KATZ, A. Creativity and the righty cerebral hemisphere: toward a philosophically based theory of creativity. **The Journal of Creative Behavior**, 12, 1978, p. 254-264.

KETTEL, Lori, THOMPSON, Judi & GREE, Jim. Generating individualized hypermedia applications. **International Workshop on Adaptive and Intelligent Web-based educational Systems**, 19 de junho, Montreal, Canadá, 2000. Disponível em: <<http://virtcampus.cl-ki.uni-osnabrueck.de/its-2000/paper/kettel/ws2-paper-5.htm>>. Acesso em: 30 de março de 2001.

KHALFA, Jean (org.). *A natureza da inteligência: uma visão interdisciplinar*. São Paulo: Fundação Ed. da UNESP, 1996.

KIM, Steven H. Automating learning and creativity through knowledge integration. **Artificial intelligence & creativity: papers from the 1993 spring symposium: technical report SS-93-01**. California (USA): AAAI Press, 1993.

KING, Bob. *Criatividade: uma vantagem competitiva*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

KNELLER, George Frederick. *Arte e ciência da criatividade*. 17 ed., São Paulo: Ibrasa, 1978.

KREMER, Rob. Visual languages for knowledge representation. **KAW'98: Eleventh workshop on knowledge acquisition, modeling and management**, Voyager Inn, Banff, Alberta, Canada, 18 a 23 de abril de 1998. Disponível em: <<http://www.cpsc.ucalgary.ca/~kremer/papers/KAW98/visual/kremer-visual.html>>. Acesso em 23 de março de 2001.

LAASER, Wolfram (org.). *Manual de criação e elaboração de materiais para educação a distância*. Brasília: CEAD; Edunb, 1997.

LASKE, Otto E. Creativity: where should we look for it?. **Artificial intelligence & creativity: papers from the 1993 spring symposium: technical report SS-93-01**. California (USA): AAAI Press, 1993.

LEDOUX, Joseph. *O cérebro emocional: os misteriosos alicerces da vida emocional*. Rio de Janeiro: Objetiva, 1998.

LÉVY, Pierre. *A máquina universo: criação, cognição e cultura informática*. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

LÉVY, Pierre. *As árvores de conhecimentos*. São Paulo: Escuta, 1995.

LÉVY, Pierre. *As tecnologias da inteligência*. Ed. 34: Rio de Janeiro, 1993.

LÉVY, Pierre. *Cibercultura*. Ed. 34: São Paulo, 1999.

LÉVY, Pierre. *O que é o virtual?*. Ed. 34: São Paulo, 1996.

LOCK, Marcos. Ponto de equilíbrio. **Revista Ensino Superior**, dezembro, 2000.

LOMBROSO, Cesare. *The man of genius*. Londres: Walter Scott, 1891.

LUZARDO, A. *Ciência cognitiva*. Disponível em: <<http://sites.uol.com.br/luzardo/>>. Acesso em: 1 de maio de 2000.

MANDELBROT, Benoit B. *The fractal geometry of nature*. 18 ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1999.

- MARITAIN, Jack. *Creative intuition in art and poetry*. New York: Pantheon Books, 1953.
- MATURANA, Humberto, GARCÍA, Francisco J. Varela. *De máquinas e seres vivos: autopoiese – a organização do vivo*. 3a. ed., Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.
- MAYER, Richard E. *Cognição e aprendizagem humana*. São Paulo: Cultrix, 1981.
- McCORMACK, Colin & JONES, David. *Building a web-based education system*. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- MCGEE, James & PRUSAC, Laurence. *Gerenciamento estratégico da informação: aumente a competitividade e a eficiência de sua empresa utilizando a informação como uma ferramenta estratégica*. Rio de Janeiro: Campus, 1994.
- METTRAU, Marsyl Bulkool. Criatividade e pensamento divergente. **Revista Ensino Superior**, dezembro, 2000.
- MINSKY, Marvin L. *The society of mind*. New York: Simon & Schuster, 1988.
- MONTANGERO, Jacques e Naville, D. Maurice. *Piaget ou a inteligência em evolução*. Artes Médicas: Porto Alegre, 1999.
- MORAES, Maria Cândida. *O paradigma educacional emergente*. Campinas: Papirus, 1997.
- MORAN, José Manuel. Interferências dos meios de comunicação no nosso conhecimento. **Revista Brasileira de Comunicação**, São Paulo, vol. XVII, n.2, Julho/Dezembro de 1994.
- MOREIRA, Marco Antonio. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.
- MORENO, Roxana & MAYER, Richard E. A learner centered approach to multimedia explanations: deriving instructional design principles from cognitive theory. **Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer-Enhanced Learning**. Disponível em: <<http://www.imej.wfu.edu/articles/2000/2/05/index.asp>>. Acesso em: 18 de março de 2001.
- MUELLER, Erik T. & DYER, Michael G.. *Towards a computational theory of human daydreaming*. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/05/21/cog00000521-00/ddcogsci.htm>>. Acesso em: 30 de março de 2001.

- MUELLER, Erik T. *A database and lexicon of scripts for ThoughtTreasure*. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/05/55/cog00000555-00/script.htm>>. Acesso em: 8 de abril de 2001.
- MURRAY, Janet H. *Hamlet on the holodeck: the future of narrative in cyberspace*. New York: The Free Press, 1997.
- NACHMANOVITCH, Stephen. *Ser criativo*. São Paulo: Summus, 1993.
- NECHES, Robert, FIKES, Richard, FININ, Tim, GRUBER, Thomas, PATIL, Ramesh, SENATOR, Ted & SWARTOUT, William R. Enabling technology for knowledge sharing. **AI Magazine**, volume 12, n. 3, outono de 1991. Disponível em: <<http://www.isi.edu/isd/KRSharing/vision/AIMag.html>>. Acesso em: 23 de março de 2001.
- OSTROWER, Fayga. *Criatividade e processos de criação*. Petrópolis: Vozes, 1987.
- PAKKAN, Mujdat & AKMAN, Varol. Issues in Commonsense Set Theory. **Artificial Intelligence Review** 8:279-308, 1995. Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/04/68/cog00000468-00/air.ps>>. Acesso em: 8 de abril de 2001.
- PELLANDA, Nize Maria Campos & PELLANDA, Eduardo Campos. *Ciberspaço: um hipertexto com Pierre Lévy*. Porto Alegre: Artes e Ofícios, 2000.
- PELUSO, Angelo (org.). *Informática e afetividade*. Bauru-SP: EDUSC, 1998.
- PENNA, Antonio Gomes. *Percepção e realidade: introdução ao estudo da atividade perceptiva*. Rio de Janeiro: Imago, 1993.
- PESSIS-PASTERNAK, Guitta. *Do caos à inteligência artificial: quando os cientistas se interrogam*. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1993.
- PEYLO, Cristoph, THELEN, Tobias, ROLLINGER, Klaus & GUST, HELMAR. A web-based intelligent educational system for Prolog. **International Workshop on Adaptive and Intelligent Web-based educational Systems**, 19 de junho, Montreal, Canadá, 2000. Disponível em: <<http://virtcampus.cl-ki.uni-osnabrueck.de/its-2000/paper/peylo/ws2-paper-9.htm>>. Acesso em: 30 de março de 2001.
- PINKER, Steven. *Como a mente funciona*. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.
- PINKER, Steven. *The language instinct: how the mind creates language*. New York: HarperCollins, 1994.

- PINKER, Steven. *Words and rules: the ingredients of language*. New York: Basic Books, 1999.
- POZO, Juan Ignacio. *Teorias cognitivas da aprendizagem*. 3a. ed., Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- PRESSEISEN, Barbara Z. *Critical issue: building on prior knowledge and meaningful student context/cultures*. North Central Regional Educational Laboratory. Disponível em:
<<http://www.ncrel.org/sdrs/areas/issues/students/learning/lr100.htm>>. Acesso em: 17 de junho de 2000.
- PRETTO, Nelson de Luca. *Uma escola com/sem futuro*. Campinas-SP: Papirus, 1996.
- RABUSKE, Renato Antônio. *Inteligência artificial*. Florianópolis: Ed. UFSC, 1995.
- RACHKOVSKIJ , Dmitri A. & KUSSUL , Ernst M. *Building large-scale hierarchical models of the world with binary sparse distributed representations*. 2000. Disponível em:
<<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/12/87/cog00001287-00/Bbsapnn1.pdf>>. Acesso em: 8 de abril de 2001.
- RUIZ, Alfredo. *Chilean school of biology cognition: the web page of Humberto Maturana*. Disponível em:
<<http://www.inteco.cl/biology/>>. Acesso em: 6 de maio de 2001.
- SCHANK, Roger & BIRNBAUM, Lawrence. Aumentando a inteligência. **A natureza da inteligência**. KHALFA, Jean (org.). São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1996.
- SCHANK, Roger & CLEARY, Chip. *Engines for education*. New Jersey (USA): Lawrence Erlbaum Associates, 1995.
- SCHANK, Roger C. & ABELSON, Robert P. Knowledge and Memory: The Real Story. **Wyer, Robert S. (eds.) Knowledge and Memory: The Real Story**, chapter 1, pages 1-85. Lawrence Erlbaum Associates, 1995. Disponível em: <http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/06/36/cog00000636-00/KnowledgeMemory_SchankAbelson_d.html>. Acesso em: 8 de abril de 2001.
- SCHANK, Roger C. & CLEARY, Chip. Making machines creative. **The Creative Cognition Approach**, S. Smith, T. B. Ward & R. A. Finke, Eds, MIT Press, p. 229-247, 1995. Disponível em:
<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/06/98/cog00000698-00/creativity_article_v2.html>. Acesso em: 30 de março de 2001.
- SCHANK, Roger C. *Goal-Based Scenarios*. 1992. Disponível em:
<<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/06/24/cog00000624-00/V11ANSEK.html>>. Acesso em: 8 de abril de 2001.

SCHANK, Roger C. Goal-Based Scenarios: Case-Based Reasoning Meets Learning by Doing. **Leake, David, (eds.) Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons & Future Directions**, pages 295-347. AAAI Press/The MIT, 1996. Disponível em:

<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/06/35/cog00000635-00/CBRMeetsLBD_for_Leake.html> Acesso em: 8 de abril de 2001.

SCHANK, Roger C. What to Know, How to Learn It. **Brockman, John and Matson, Katinka (eds.) How Things Are**, pages 183-190. New York: Morrow, 1995. Disponível em:

<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/06/38/cog00000638-00/What_to_Know_Brockman_book.html>. Acesso em: 8 de abril de 2001.

SCHANK, Roger C. What We Learn When We Learn by Doing. **Technical Report ILS Technical Report No. 60**, Institute for Learning Sciences, Northwestern University, 1995. Disponível em:

<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/06/37/cog00000637-00/LearnbyDoing_Schank.html>. Acesso em: 8 de abril de 2001.

SCHANK, Roger C. Where's the AI?. **Technical Report Technical Report No. 16**, Institute for the Learning Sciences, Northwestern University, 1991. Disponível em:

<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/04/35/cog00000435-00/Where's_the_AI__Schank.html>. Acesso em: 8 de abril de 2001.

SCHANK, Roger. *Tell me a story: narrative and intelligence*. Evanston, Illinois (USA): Northwestern University Press, 1998.

SCHANK, Roger. *Virtual learning: a revolutionary approach to building a highly skilled workforce*. New York (USA): McGraw-Hill, 1997.

SEARLE, John R. *Mente, linguagem e sociedade: filosofia no mundo real*. Rio de Janeiro: Rocco, 2000.

SEARLE, John R. *The mystery of consciousness*. New York: The New York Review of Books, 1997.

SILVA, Zilá A. P. Moura. *A aprendizagem de Pavlov a Piaget: algumas reflexões*. Disponível em:

<<http://www.bauru.unesp.br/fc/boletim/formacao/pavlov.htm>>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2000.

SLOMAN, Aaron. What Sort of Architecture is Required for a Human-Like Agent?. **Foundations of Rational Agency**, Kluwer Academic Publishers, 1998. Disponível em:

<<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/04/11/cog00000411-00/199802001.ps>>. Acesso em: 8 de abril de 2001.

SOWA, John F. *Knowledge representation: logical, philosophical and computational foundations*. Pacific Groove, CA: Brooks/Cole Publishing Co., 2000. Disponível em:

<<http://www.bestweb.net/~sowa/krbook/index.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2001.

SOWA, John F. Ontology, metadata, and semiotics. B. Ganter & G. W. Mineau, eds., *Conceptual Structures: Logical, Linguistic, and Computational Issues*, **Lecture Notes in AI #1867**, Springer-Verlag, Berlin, 2000, pp. 55-81.

Disponível em: <<http://www.bestweb.net/~sowa/peirce/ontometa.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2001.

SOWA, John F. Relating templates to logic and language. *Information Extraction: Towards Scalable, Adaptable Systems*, ed. by M. T. Paziienza, **Lecture Notes in AI #1714**, Springer-Verlag, 1999, pp. 76-94. Disponível em:

<<http://www.bestweb.net/~sowa/direct/template.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2001.

SPERBER, Dan & WILSON, Deirdre. *Relevance, communication & cognition*. 2 ed. New York: Oxford-Cambridge, 1996.

SPERBER, Dan. Entendendo a compreensão verbal. **A natureza da inteligência**. KHALFA, Jean (org.). São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1996.

STERNBERG, Robert J. *Psicologia cognitiva*. Porto Alegre: ArtMed, 2000.

SUDDENDORF, Thomas & FLETCHER-FLINN, Claire M. Theory of mind and the origin of divergent thinking. **Journal of Creative Behavior**, vol. 31, 169-179, 1997. Disponível em:

<<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/07/27/cog00000727-00/TOM.txt>>. Acesso em: 30 de março de 2001.

SURAV, Mehmet & AKMAN, Varol. Modeling Context with Situations. In **Brezillon, Partick and Abu-Hakima, Suhayya**, Eds. *Proceedings IJCAI-95 Workshop on "Modelling Context in Knowledge Representation and Reasoning"*, pages 145-156, Montreal, Canada, 1995. Disponível em:

<<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/04/72/cog00000472-00/ijcai95.ps>>. Acesso em: 8 de abril de 2001.

TEIXEIRA, João de Fernandes. *Mentes e máquinas: uma introdução à ciência cognitiva*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

THALER, Stephen L. *A quantitative model of seminal cognition: the creative machine paradigm*. Adaptado a partir de artigo apresentado na **Mind II Conference**, Dublin, Irlanda, 1997. Disponível em: <<http://www.imagination-engines.com/mind2/m2paper.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2001.

- THALER, Stephen L. *Creativity machine: executive summary*. Disponível em: <<http://www.imagination-engines.com/cmexeksu.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2001.
- THALER, Stephen L. *DataBots*. Disponível em: <<http://www.imagination-engines.com/databots.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2001.
- THALER, Stephen L. *Neural networks that autonomously create and discover*. 1999. Disponível em: <<http://www.imagination-engines.com/newpcai.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2001.
- THALER, Stephen L. *Principles and applications of the self-training artificial neural network object*. 1999. Disponível em: <<http://www.imagination-engines.com/adpcstanno.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2001.
- THALER, Stephen L. *The creativity machine inspires a symbolism for discovery and invention*. 1999. Disponível em: <<http://www.imagination-engines.com/Symbol.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2001.
- THALER, Stephen L. *The creativity machine provides the master equation of consciousness*. 1999. Disponível em: <<http://www.imagination-engines.com/Stream.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2001.
- THALER, Stephen L. *The creativity machine provides the master equation of consciousness*. 1999. Disponível em: <<http://www.imagination-engines.com/Stream.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2001.
- THE AMERICAN ASSOCIATION FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE. *Artificial intelligence & creativity: papers from the 1993 spring symposium: technical report SS-93-01*. California (USA): AAAI Press, 1993.
- The creativity machine. **NewScientist**, 20 de janeiro de 1996. Disponível em: <<http://www.newscientist.com/nsplus/insight/ai/creativity.html>>. Acesso em: 21 de março de 2001.
- Tiny machines do the work of giants. **ScienceDaily Magazine**, 8 de fevereiro de 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedaily.com/print/2000/02/000208075736.htm>>. Acesso em: 22 de março de 2001.
- TISHMAN, Shari, PERKINS, David J. & JAY, Eileen. *A cultura do pensamento na sala de aula*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1999.
- TORRANCE, Ellis Paul. *Criatividade: medidas, testes e avaliações*. São Paulo: Ibrasa, 1976.
- UNGERER, Friedrich & SCHMID, Hans-Jörg. *An introduction to cognitive linguistics*. Londres: Longman, 1996.
- VALDEZ, Gilbert. *Building a knowledge base*. North Central Regional Educational Laboratory. Disponível em: <<http://www.ncrel.org/tandl/build1.htm>>. Acesso em: 4 de outubro de 2000.

VALDEZ, Gilbert. *Innovative approaches to learning*. North Central Regional Educational Laboratory. Disponível em: <<http://www.ncrel.org/tandl/build2.htm>>. Acesso em: 4 de outubro de 2000.

VARELA, Francisco J., THOMPSON, Evan & ROSCH, Eleanor. *The embodied mind: cognitive science and human experience*. 7a. ed., Cambridge: The MIT Press, 1999.

VIGOTSKY, Lev Semenovich. *A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. 6ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

VIGOTSKY, Lev Semenovich. *Psicologia da arte*. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

VON WANGENHEIN, Christiane Gresse. *Case-based reasoning – a short introduction – technical report Ikenon002.00E*. C3 – Centro de Competência em Raciocínio Baseado em Casos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 2000. Disponível em: <http://c3.eps.ufsc.br/rt/Iknow002_00E.pdf>. Acesso em: 27 de abril de 2001.

WHISONANT, Robert D. *The effects of humor on cognitive learning in a computer-based environment*. Blacksburg, Virginia, 1998. 71f. Dissertação (doutorado em filosofia) – Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.

WHITAKER, Randall. *Tutorial introdutório: autopoiese e atuação*. Disponível em: <<http://www.lcc.ufmg.br/autopoiese/Tutorial.htm>>. Acesso em: 26 de outubro de 2000.

WINTRAUB, Sandra. *The hidden intelligence: innovation through intuition*. Woburn, MA, EUA: Butterworth-Heinemann, 1998.

YAM, Philip. Intelligence considered: what does it mean to have brainpower? A search for a definition of intelligence. **Scientific American – Exploring Intelligence**, 1998. Disponível em: <<http://www.sciam.com/1998/1198intelligence/1198yam.html>>. Acesso em: 22 de março de 2001.

YOUNG, James Web. *Técnica para a produção de idéias*. São Paulo: Nobel, 1994.

GLOSSÁRIO

Abordagem *botton-up*. Método para a explicação de um fenômeno a partir do funcionamento de seus componentes.

Abordagem *top-down*. Método para a explicação de um fenômeno a partir dos seus efeitos visíveis, ou seja, a partir da visão geral, tenta-se detalhar os componentes que constroem esse todo e as suas funções individuais.

Arquitetura cognitiva. Resultado da representação de um modelo do funcionamento da cognição humana.

Assimilação. Processo de equilíbrio pelo qual uma pessoa incorpora uma nova informação aos esquemas cognitivos existentes.

Autopoieses (teoria da). Ver *sistema autopoietico*.

Cibernética. Do grego *kybernetiké*: ciência que estuda as comunicações e o sistema de controle de máquinas e de organismos vivos. A cibernética teve seu auge nos anos 40 e no início dos anos 50. Seus pioneiros foram Norbert Wiener e John Von Neumann.

Ciência cognitiva. Estudo do funcionamento mental (humano ou não) que toma como modelo o computador. A ciência cognitiva é essencialmente interdisciplinar, reunindo disciplinas como a psicologia, a lingüística, a ciência da computação, as ciências do cérebro e a filosofia.

Cognitivismo. Perspectiva psicológica segundo a qual o estudo da maneira como as pessoas pensam levará a um amplo entendimento sobre grande parte do conhecimento humano.

Comportamentalismo. Visão, na psicologia, segundo a qual a tarefa do psicólogo consiste em estabelecer leis relacionando estímulos com respostas, evitando o estudo dos estados mentais. Em filosofia, o comportamentalismo lógico é uma forma de reducionismo, segundo o qual o significado da atribuição de estados mentais deve ser feito de acordo com o papel que eles desempenham na produção de comportamentos. Tais atribuições podem ser traduzidas em sentenças que façam referência unicamente a circunstâncias comportamentais e físicas.

Configuração mental. Fenômeno cognitivo no qual uma pessoa é predisposta a usar um modelo existente para representar a informação, mesmo quando esse modelo representa inadequadamente a informação em uma nova situação.

Consciência. Fenômeno complexo de avaliar o ambiente e depois filtrar essa informação através da mente, com conhecimento de fazer isso. Pode ser considerada como a realidade mental criada a fim de adaptar-se ao mundo.

Construtivismo. Teoria segundo a qual o conhecimento é produto da construção mental contínua e pró-ativa de cada pessoa, e não uma representação do mundo passiva e estática.

Criatividade. Processo cognitivo que leva à solução de um problema complexo.

Equilibração. Processo de adaptação cognitiva ao ambiente, pelo qual uma pessoa trabalha para manter um estado de equilíbrio cognitivo, mesmo diante de uma nova informação. A equilibração é majorante (chamada por Piaget de “beta”) quando esse processo agrega mudanças nos esquemas cognitivos existentes.

Espaço de problema (de pesquisa). Metáfora para acompanhar todas as ações possíveis que podem ser aplicadas para resolver um problema, considerando quaisquer restrições que se apliquem à solução do problema.

Esquema. Do latim *schemata*: estrutura cognitiva para organizar significativamente vários conceitos inter-relacionados, com base em experiências anteriores.

Estratégias cognitivas. Abordagens utilizadas por uma pessoa para assimilar o mundo. São aprendidas conforme a experiência de vida, baseadas nos esquemas e nos *scripts* desenvolvidos ao longo de sua interação com o meio ambiente.

Estruturalismo. Perspectiva psicológica segundo a qual a chave para a compreensão da mente e do comportamento humano é estudar os conteúdos estruturais e os elementos da mente. Os primeiros psicólogos favoráveis a essa perspectiva procuraram analisar a consciência em seus componentes constituintes de sensações elementares.

Frame (ou quadro). Para Minsky, um *frame* consiste de um conceito central, que se relaciona com outros por meio de pares de “atributo-valor”. Todos os atributos – e, às vezes, os valores – de um conceito maior são herdados por um conceito definido a partir dele, e apenas os atributos específicos daquele conceito são acrescentados.

Gestalt (teoria da). Escola de pensamento psicológico que sustenta que muitos fenômenos psicológicos devem ser compreendidos como conjuntos integrais e que a análise em elementos fragmentários destrói a integridade desses fenômenos.

Imaginação. Representação mental de objetos, de eventos, de ambientes e de outras coisas que não são imediatamente perceptíveis aos receptores sensoriais.

Inteligência artificial. Disciplina que estuda e desenvolve programas computacionais com a finalidade de simular atividades mentais humanas cuja realização envolve inteligência. O termo foi criado pelo matemático John McCarthy na década de 50.

Inteligência. Capacidade para aprender a partir da experiência e adaptar-se ao ambiente circundante.

Memória episódica. Codificação, armazenamento e recuperação de eventos ou episódios que a pessoa que recorda vivenciou pessoalmente em um determinado tempo e lugar.

Modelo mental. Representação interna da informação, que corresponde, de alguma maneira, a tudo que estiver representado. Pode envolver tanto o uso de formas analógicas e simbólicas quanto de formas proposicionais da representação do conhecimento.

Nó. Elemento que representa um conceito dentro de uma rede semântica. Cada nó está ligado em relações com outros nós na rede.

Operações (mentais). Segundo Piaget, competência mental para manipular suas representações internas de objetos concretos.

Pensamento automático. Manipulação cognitiva que não exige decisões conscientes ou esforço intencional.

Percepção. Conjunto de processos psicológicos pelos quais as pessoas reconhecem, organizam, sintetizam e conferem significação mental às sensações recebidas dos estímulos ambientais por meio dos órgãos dos sentidos.

Protótipo (computacional). Implementação para testes de um modelo em sistemas computacionais.

Protótipo (teoria dos). Modelo que representa da melhor forma um dado conceito (e vários exemplos do conceito). O modelo para um dado conceito compreende um conjunto de aspectos característicos que tendem a ser típicos da maioria dos exemplos do conceito, mas nenhum dos quais é necessário para que um determinado exemplo seja considerado um caso ilustrativo do conceito.

Psicologia cognitiva. Estudo de como as pessoas percebem, aprendem, recordam e ponderam a informação.

Raciocínio dedutivo. Processo pelo qual uma pessoa tenta extrair uma conclusão específica e logicamente correta a partir de um conjunto de proposições gerais.

Raciocínio indutivo. Processo pelo qual uma pessoa tenta alcançar uma provável conclusão geral, com base em um conjunto de fatos ou em observações específicas.

Raciocínio. Processo cognitivo pelo qual uma pessoa pode inferir uma conclusão a partir de um grupo de evidências ou de declarações de princípios.

Redes (hipertextuais ou semânticas). Conjunto de relações classificadas (condição de membro de uma categoria, atribuição etc.) entre os nós.

Representação do conhecimento. Forma mental pela qual as pessoas conhecem as coisas, as idéias os eventos etc. que existem fora de sua mente.

Script (ou roteiro). Estrutura para um esquema que envolve uma compreensão comum sobre os protagonistas, os objetos e a seqüência de ações características numa situação estereotípica.

Símbolo. Forma de representação do conhecimento que foi escolhida arbitrariamente para representar alguma coisa e que não se assemelha perceptivamente a tudo o que está sendo representado.

Sistema autopoietico (autopoieses). Sistema organizado como processos de produção de componentes conectados de tal maneira que: 1) geram os processos (relações) de produção que os produzem através de suas contínuas interações e transformações; e 2) constituem ao sistema como uma unidade no espaço físico. A expressão, assim como a teoria da autopoieses, oferece uma definição e uma explicação para os seres vivos fundamentada no funcionamento autônomo e auto-organizado dos seus componentes mais básicos. Segundo Maturana e Varela, um sistema autopoietico é auto-homeostático, no sentido em que possui a sua própria organização como a variável que mantém constante.

Teoria do protótipo. Teoria segundo a qual a significação de uma palavra ou conceito pode ser compreendida em função de um protótipo, o qual representa, de forma melhor, uma dada palavra e abrange um conjunto de aspectos característicos que tendem a ser típicos da maioria dos exemplares da palavra.

Universo cognitivo. Conjunto de experiências vivenciadas por uma pessoa ao longo de sua existência.