

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E DE ESTATÍSTICA - INE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO

HIPERTOMATAS NA COMPUTAÇÃO
APLICADA À EDUCAÇÃO

Exame de Qualificação submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação.

Maria Aparecida Fernandes Almeida

Florianópolis, Fevereiro de 2001

HIPERTOMATAS NA COMPUTAÇÃO APLICADA À EDUCAÇÃO

Maria Aparecida Fernandes Almeida

Este Exame de Qualificação foi julgado adequado e aprovado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Jorge Muniz Barreto, D.Sc.A.

Orientador

Prof. Fernando A. O. Gauthier, Dr.

Coordenador do Programa

Banca Examinadora:

Prof. Jorge Muniz Barreto, D.Sc.A, INE-UFSC

Orientador

Prof. Ariovaldo Bolzan, Dr., Diretor do Centro Tecnológico-UFSC

Moderador

Prof. Mauro Roisemberg, Dr., INE-UFSC

Prof^a. Maria Augusta Soares Machado, Dra., IBMEC-RJ

Prof. Leandro J. Komosinski, Dr., INE-UFSC

Florianópolis, 16 de fevereiro de 2001.

Sumário

Sumário	i
Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	v
Lista de Abreviaturas	vi
Resumo	viii
Abstract	ix
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo Geral	4
1.2.2 Objetivos Específicos	5
1.3 Estrutura do trabalho	5
2 Sistemas Formais e Teoria das Categorias	7
2.1 O que são sistemas formais?	7
2.1.1 Origens dos sistemas formais	8
2.1.2 Representação de Sistemas Formais	9
2.1.3 Linguagens Formais	11
2.2 Teoria das Categorias	13
2.2.1 Um Sistema Formal gera uma Categoria	13
2.2.2 Representação de um Morfismo	13
2.2.3 Diagramas	14
2.2.4 Tipos de Morfismos	14

2.2.5	Categoria dos Conjuntos	16
2.2.6	Categoria de Conceitos	18
2.2.7	O Problema do Contexto na Categoria de Conceitos	19
2.3	Outras Categorias	22
2.3.1	Mudança de uma categoria a outra	22
2.3.2	Categoria dos Autômata	24
3	Aprendizados: Animal x Máquina	25
3.1	As bases teóricas da Aprendizagem Animal	25
3.1.1	Associacionismo	27
3.1.2	Funcionalismo	28
3.1.3	Cognitivismo	32
3.1.4	Teoria Neurofisiológica	37
3.2	Aprendizado de Máquina	39
3.2.1	Psicologia e Filosofia Computacional	40
3.2.2	Ciência Cognitiva	41
3.2.3	Cognição e Computação	42
3.3	Paradigmas da Ciência Cognitiva	43
3.3.1	Ciência Cognitiva Computacional Simbólica	43
3.3.2	Ciência Cognitiva Computacional Conexionista	43
3.4	Taxonomia do Aprendizado de Máquina	44
3.4.1	Estratégias de Aprendizado	45
3.4.2	Representação do conhecimento	48
3.4.3	Domínio de aplicação	50
3.4.4	Classificação segundo a retroação do mundo	51
3.4.5	Classificação quanto a finalidade do aprendizado	52
3.4.6	Classificação quanto a interação com o meio	52
3.4.7	Classificação quanto ao tipo de conhecimento adquirido	53
3.5	Aprendizado: faceta importante da Inteligência	54
3.5.1	O Especialista e o Generalista	54
3.5.2	O problema da medida métrica da inteligência	55
3.5.3	A Inteligência Humana é uma Função Computável?	56
4	Máquinas para Ensinar...	60
4.1	Máquinas de Ensinar: do aprendizado individualizado ao computador	61

4.1.1	Aprendizado Individualizado: Máquina de Pressey	61
4.1.2	Máquinas de Ensino: Fonógrafo e Televisão	62
4.2	Ensino Programado: precursor do ensino assistido por computador . .	62
4.2.1	Skinner e as Máquinas de Ensino	63
4.2.2	Máquina de Ensinar de Crowder	65
4.2.3	Máquina de Pask	66
4.2.4	A “professora” mecânica	66
4.3	Máquina de Ensinar: O computador	67
4.4	Por quê... computador?	71
4.5	Ensino Computadorizado Inteligente	73
4.6	Paradigmas Formais de Sistemas de Ensino Inteligente	76
5	Hipermídia: Modelo Teórico	81
5.1	Definição teórica de Hipertexto	81
5.2	Conceitos básicos da Teoria de Autômata	82
5.3	Hipertexto como autômata	86
6	Implementações de Hipertomas	90
6.1	Modelagem categórica: um novo caminho para um velho problema . .	90
6.2	Hipertexto x Ensino de RNA: a inspiração	91
6.3	Mudança de contexto: Ensino de Computação para turmas reais . . .	97
6.4	Um ambiente de Ensino de Computação	97
6.5	Grafo de Implementação segundo o modelo Hipertomata	100
6.6	Análise de Oportunidades	101
6.7	Análise de dados	111
7	Plano de Trabalho	113
7.1	O Hipertomata e Categoria dos Hipertomata	113
7.2	Etapas	114
7.3	Cronograma	114
7.4	Recursos	115
7.5	Parte a ser desenvolvida	115
8	Epílogo	117
	Referências Bibliográficas	119

Lista de Figuras

2.1	Sistema Formal Gerando Categoria	14
2.2	Representação dos objetos e morfismos numa Categoria	14
2.3	Monomorfismo	15
2.4	Epimorfismo	15
2.5	Isomorfismo	15
3.1	Dispositivo Experimental de Pavlov	27
3.2	“Educação de um rato”. Fonte: [181]	36
3.3	Taxonomia do Aprendizado segundo Carbonell [44]	44
4.1	Discoverer: programas lineares. Fonte: [37]	63
4.2	Máquina Devereux na França. Fonte: [36]	64
4.3	Auto-Tutor (EUA)	64
4.4	B. F. Skinner . Fonte: UPI- The Bettmann Archive	65
4.5	Máquina Didak Fonte: [182]	67
4.6	Janela da Máquina Didak Fonte: [182]	67
4.7	EnBasic: adaptação dos programas do PLATO. Fonte: [36]	69
4.8	TUTOR: versões para computadores Apple II, Commodore 64 e PC .	70
5.1	Grafo representando o autômata M	85
5.2	Mudança de saída e inalteração de estado no hipertexto H_p	88
5.3	Representação de um hipertexto H	89
6.1	Tela de um hipertexto simples	92
6.2	Grafo de um Hipertomata para Ensino de Redes Neurais	96
6.3	Tela de apresentação do ambiente	98
6.4	Tópico de uma aula expositiva disponível para acesso	99
6.5	Acompanhamento de uma tarefa dada	100
6.6	Grafo de Hipertomata para Ensino de Computação	112

Lista de Tabelas

4.1	Alguns ITS históricos - adaptado de Kaplan [94]	75
5.1	Transição de estados do autômata M	85
7.1	Cronograma	115

Lista de Abreviaturas

1. CAI - Computer-Aided Instruction.
2. CAL - Computer-Aided Learning.
3. CCA - Centro de Ciências Agrárias.
4. CPGCC - Curso de Pós-graduação em Ciência da Computação.
5. CMI - Computer Managed Instruction.
6. GPEB - Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica.
7. GUI - Graphical User Interface.
8. HTML - Hypertext Markup Language.
9. III CBRN - III Congresso Brasileiro de Redes Neurais.
10. IEEE - The Institute of Electrical and Electronics Engineers.
11. IA - Inteligência Artificial.
12. IAC - Inteligência Artificial Conexionista.
13. IAS - Inteligência Artificial Simbólica.
14. IBM - International Business Machines.
15. ICAI - Intelligent Computer-Aided Instruction.
16. ICAL - Intelligent Computer-Aided Learning.
17. INE - Departamento de Informática e de Estatística.
18. ITS - Intelligent Tutor System.
19. LISP - List Processing.

20. MIT - Massachusetts Institute of Technology.
21. NSPI - National Society for Programmed Instruction.
22. PGEEL - Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica.
23. PSSH - Physical Symbol System Hypothesis.
24. RBIE - Revista Brasileira de Informática na Educação.
25. RNA - Redes Neurais Artificiais.
26. RTM - Representational Theory of the Mind.
27. SE - Sistemas Especialistas.
28. SBC - Sociedade Brasileira de Computação.
29. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.
30. VDM - Viena Development Method
31. VDL - Viena Development Language
32. WWW - World Wide Web.

Resumo

Este trabalho visa aplicar métodos formais na Engenharia de Programas Educacionais unificando as Teorias de Categorias, Autômatas e Sistemas Hiperímia. É apresentado um modelo teórico de um sistema Hiperímia como Autômata, denominado *Hipertomata*, utilizado na especificação formal de um ambiente de Ensino-aprendizagem via redes de computadores. Utilizando o conceito de ciclo de vida foram desenvolvidas as implementações para análise de oportunidades de um programa educacional. A temática escolhida foi o Ensino de conceitos introdutórios de Computação para turmas de alunos reais de áreas distintas na Universidade Federal de Santa Catarina. De forma a oferecer o suporte necessário à sua compreensão, o trabalho apresenta os conceitos de sistemas formais que foram utilizados na modelagem, os paradigmas das Ciências Cognitivas, através de um estudo comparativo das formas de Aprendizado Animal e de Máquina, bem como a evolução do uso das máquinas no Ensino, enfatizando o Computador como uma poderosa ferramenta na ampliação das capacidades intelectuais humanas.

Palavras-chave: Engenharia de Programas Educacionais, Métodos Formais, Hiperímia, Autômatas, Teoria das Categorias;

Abstract

This work intends to apply formal methods in Educational Software Engineering by the unification Hypermedia, Automata and Category Theories. It was presented a hypermedia theoretical model as Automata, called Hipertomata, that it is used for a formal especification in web-based learning. Using the life cycle concept for this educational program was implementated for opportunity analysis. The tematic chosen is teach basics concepts in Computer Science to students in differents areas at Federal University of Santa Catarina. In way to offer the necessary support to its understanding, the work presents the foundations of the formal systems that they have been used in the models, the paradigms of Cognitive Science by comparative study of the ways Animal Learning and Machine Learning, as well as the evolution of the use of teaching machines, emphasizing the Computer is a powerful tool to increase human intellectual capacities.

Keywords: Hipertomata, Hypermedia, Automata, Category Theory, Cognitive Science, Education;

Capítulo 1

Introdução

*“... sua tese é sobre a Tetralogia dos Nieblungos ...
e deve abrir várias linhas de pesquisas...
como as teses do antigo ‘Doutorado de Estado’ francês!
Prof. Barreto.*

1.1 Motivação

O interesse da autora na concepção de sistemas de ‘ensino com computador’ iniciou-se em 1995 durante seu curso de Mestrado em Engenharia Elétrica na UFSC [4]. Em 1996, a mesma desenvolveu no Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica (GPEB) do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica (PGEEL) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), sob a orientação do Prof. Jorge Muniz Barreto, um ambiente computacional para Ensino de Projeto de Filtros Digitais no Domínio do Tempo [4], [6], [7], [8], [9], [10], [15], [16] como parte integrante de sua dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica [4]. Neste mesmo ano, a autora desenvolveu, paralelamente, como trabalho de curso numa das disciplinas deste Mestrado, um ambiente de ensino de Redes Neurais inspirado nas Notas de Aulas de seus Professores: Fernando Azevedo, Renato Garcia e Jorge Barreto.

Em 1997, motivada pelo Prof. Barreto e seus colaboradores¹, a mesma ampliou o sistema de Ensino de Redes Neurais. Em julho de 1997, por ocasião do III Congresso Brasileiro de Redes Neurais (III CBRN), o sistema foi disponibilizado em uma

¹Dentre os colaboradores estavam os alunos dos curso de Bacharelado em Ciência da Computação do Departamento de Informática e de Estatística (INE) da UFSC, que na época utilizaram o ambiente como apoio na disciplina de Inteligência Artificial.

máquina local para uso dos participantes do III CBRN. Incentivada pelo interesse das pessoas, devida a originalidade do tema (na época não existia programas hipertextos similares em língua portuguesa), a mesma resolveu melhorar seu conteúdo e interface.

Várias versões foram desenvolvidas (1995 a 1999) com auxílio das críticas e sugestões de professores e estudantes de graduação e pós-graduação em Engenharia Elétrica e Ciência da Computação da UFSC. O ciclo de vida deste sistema terminou quando a autora percebeu que, para ser efetivamente ser usado como recurso pedagógico no Ensino de Redes Neurais, tornava-se necessário uma adaptação tão complexa que era melhor finalizar seu ciclo de vida. Por mais recursos atrativos que fossem colocados, não valeria a pena todo o esforço dispensado com a ferramenta de autoria pois ele tinha sua própria limitação - era mal concebido...

Em 1998, a autora iniciou seu Mestrado em Ciência da Computação na UFSC desenvolvendo a modelagem de um ambiente de Ensino Hipermídia como Autômato [5]. Em 1999, a autora observou que esta modelagem poderia ser aplicada ao seu sistema morto, ou seja nasceria do conteúdo daquele, um novo sistema que já na sua concepção poderia ter grandes chances de sobrevivência e de motivar a concepção de novos sistemas. O problema era como poderia ser feita a atualização do conteúdo já que o programa original festejava seu quinto ano?

Dessa feita, a autora contou com o auxílio do Prof. Mauro Roisemberg do INE, que ministrando aulas de Inteligência Artificial no Curso de Pós-graduação em Ciência da Computação (CPGCC), solicitou uma avaliação do programa entre seus alunos. Esta valiosa colaboração permitiu a modelagem de uma versão independente da plataforma para uso em rede de computadores. Assim, aliando as solicitações dos estudantes ao objeto de estudo de sua pesquisa, a mesma criou o grafo de implementação de um ambiente de Ensino de Redes Neurais [11], [12], [17], [18], seguindo a modelagem de um sistema Hipermídia como Autômato, conforme proposto na sua dissertação de Mestrado em Ciência da Computação [5].

Considerando os bons resultados obtidos nas suas pesquisas anteriores [4], [5], a mesma iniciou em 1999, o curso de Doutorado em Ciência da Computação no CGGCC-UFSC, procurando alternativas para melhoria da qualidade dos programas educacionais, principalmente no que se refere a concepção do sistema [13],[14].

No primeiro semestre de 1998, a autora desenvolveu um estágio de docência², por reconhecer a importância desta atividade na sua formação acadêmica e profissional. Além disso, para atingir seus objetivos, aplicando sua pesquisa em turmas de alunos reais, a mesma efetuou durante o ano de 2000, dois estágios de docência

²Disciplina INE-5371 - Inteligência Artificial do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação do INE-CTC-UFSC.

consecutivos³ em disciplinas oferecidas pelo INE no Laboratório de Informática do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da UFSC. Estas disciplinas destinam-se ao Ensino de conceitos introdutórios de Computação para Ciências Agrárias e Engenharia de Aquicultura. Como recurso didático, de forma a testar os conceitos que estão sendo desenvolvidos na tese, a autora concebeu um sistema de apoio ao ensino via rede para que fosse utilizado e avaliado pelos alunos do CCA. Estes últimos estágios, embora ultrapassassem o número de créditos recomendados nos cursos de mestrado e doutorado, foram efetuados tendo em vista a grande utilidade de poder “testar em campo” suas pesquisas sobre “Ensino com computador”.

A autora considera importante “ensinar com o computador” e não somente desenvolver ferramentas puramente teóricas. Assim, foi para a sala de aula, usando como recurso pedagógico seu próprio ambiente computacional de ensino, verificando erros e acertos, observando as reações dos alunos, suas preferências, ouvindo opiniões, críticas e sugestões no dia a dia. Ou seja, vivenciando, na prática, verdades e mitos da Informática na Educação.

Os resultados obtidos até o momento na análise de oportunidades⁴ apontam para a continuação deste estudo.

Um dos motivos da escolha de alunos do CCA é a análise do problema da aceitabilidade do computador em turmas que não estão familiarizadas com o mesmo, esta escolha reflete a realidade brasileira na qual a maioria das pessoas não sabe manipular o computador.

A autora acredita que deve existir um contato direto entre alunos e professores. O computador é uma ferramenta poderosa para ampliar as capacidades intelectuais mas não pode substituir o professor, como proposto em vários sistemas de ensino virtual. O computador deve servir para dinamizar o Ensino, usando a metáfora da Apple [20] “Rodas para a mente” ampliando a capacidade de raciocínio permitindo percorrer distâncias.

Adicionalmente, o contato da autora do presente trabalho com pessoas da área de Informática na Educação, no local onde é publicada a RBIE⁵, as experiências anteriores com trabalhos já apresentados [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [45], [80] como Pesquisadora e como Professora Universitária, interessada nas novas tecnologias de Ensino, servirão de forte motivação para a continuidade deste trabalho.

³Disciplinas INE-5214 - Introdução à Computação e Informática Agrícola e INE-5220 - Introdução à Computação.

⁴Os clientes neste caso, são os alunos, usando aqui a terminologia da primeira fase na Engenharia de Programas.

⁵Revista Brasileira de Informática na Educação publicada pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Ensinar com o computador resume-se em desenvolver um programa. O desenvolvimento de programas é base da Engenharia de Programas [177]. A Engenharia de Programas⁶ passou por várias fases. Inicialmente, nos anos 50, 60 e 70, a preocupação era com a correção lógica de programas. Já nos anos 60, chegou-se a conclusão que fazer um programa realístico correto era um problema tão complexo que se tornava impossível. A Engenharia de Programas então voltou-se para a abordagem construtiva de programas, ou seja, delineamento de passos sucessivos para se evitar erros de semântica. Os primeiros métodos de especificação formal foram introduzidos por Jackson [91], desenvolvidos para construção de programas em COBOL. O método de Jackson foi seguido por uma série de outros métodos formais de linguagens de especificação que por serem sintáticas ofereciam uma maneira precisa e sistemática de construção de programas, evitando-se de erros [42], [58], [66], [109], [178]. Ainda nos 60, a IBM [108] de Viena cria o projeto VDM (“Viena Development Method”), que foi o método de desenvolvimento do compilador do computador PL-1 [109]. Neste projeto foram desenvolvidas uma série de ferramentas formais que posteriormente foram generalizadas com a utilização de estruturas algébricas (grupos, anéis, corpos, etc.), surgindo então a VDL (“Viena Development Language”). A Teoria das Categorias [22], [170] foi introduzida como linguagem de especificação de programas no final dos anos 60. Atualmente, existe uma corrente da Engenharia de Programas, muito mais rica do que a VDM e a VDL, que são os métodos formais [116], [102] e neles se inclui a Teoria das Categorias.

Existe muita preocupação com a melhoria da qualidade de sistemas de Ensino computadorizados através da utilização de diversos paradigmas Educacionais oriundos da Psicologia. Entretanto, existe pouca ou nenhum enfoque na concepção desses programas em termos computacionais. Considerando que um programa de ensino com computador é antes de mais nada, um programa que possui um ciclo de vida⁷ [177], este trabalho pretende como objetivo geral:

- Utilizar métodos formais para aplicação na Engenharia de Programas Educacionais Hipermedia.

⁶A *IEEE Computer Society* publica um periódico totalmente dedicado a esta área - a “*IEEE Transactions on Software Engineering*”.

⁷Como já foi comentado na justificativa já foi observado o ciclo de vida em programas educacionais anteriormente desenvolvidos pela autora.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender o objetivo geral, mencionado anteriormente, são definidos os seguintes objetivos:

- Apresentar conceitos rudimentares de Sistemas formais e Teorias das Categorias para aplicá-los na concepção de Sistemas de Ensino com Computador;
- Efetuar um estudo comparativo entre as teorias de Aprendizado Animal e o Aprendizado de Máquina, introduzindo o Aprendizado à luz da Teoria das Categorias;
- Descrever a evolução das máquinas de Ensino e suas teorias de suporte;
- Apresentar o Modelo Teórico de um Sistema Hipermídia como Autômata (denominado Hipertomata) para posterior unificação com a Teoria das Categorias;
- Mostrar as implementações desenvolvidas com Hipertomatas, utilizadas na prática em Sistemas de Ensino, em domínios diferentes;
- Apresentar a Análise de Oportunidades de um Sistema de Ensino de Computação em turmas de alunos reais, utilizando o modelo Hipertomata para posterior desenvolvimento de uma ferramental formal baseado na Teoria das Categorias.
- Observar o problema da aceitabilidade do computador de pessoas que não estão familiarizadas com o mesmo utilizando turmas de alunos reais;
- Apontar alternativas, utilizando técnicas formais da Computação para melhoria da qualidade de Sistemas Ensino com Computador.

1.3 Estrutura do trabalho

Para atender os objetivos propostos, este trabalho está estruturado conforme discriminado a seguir.

O Capítulo 1 apresenta as motivações e a justificativa para o desenvolvimento, os objetivos e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 mostra os conceitos elementares dos Sistemas Formais focalizando os conceitos rudimentares da Teoria das Categorias necessários à compreensão do presente trabalho.

No Capítulo 3 é apresentado um estudo comparativo sobre o Aprendizado Animal e o Aprendizado de Máquina. São abordados a Taxonomia do aprendizado, os Paradigmas da Ciência Cognitiva e o aprendizado sob Linguagem Categórica.

O Capítulo 4 apresenta a evolução do uso das máquinas no Ensino, enfatizando o Computador como uma poderosa ferramenta para ampliar as capacidades intelectuais humanas.

No Capítulo 5 são descritos os conceitos básicos da Teoria dos Autômatas e de Sistemas Hipertexto (ou hipermídia) como Autômatata. A unificação destas Teorias gerou o modelo, aqui denominado, Hipertomata que será tratado no desenvolvimento da tese em Linguagem Categórica.

O Capítulo 6 mostra as implementações desenvolvidas segundo a modelagem de sistemas hipertextos como Autômatata. São apresentados os resultados iniciais, obtidos na prática, com a avaliação do modelo Hipertomata através de pesquisa em campo com alunos de turmas reais. A análise dos dados para validação do modelo e sua extensão categórica será objeto de desenvolvimento da tese.

O Capítulo 7 propõe um plano de trabalho observando os aspectos de contribuição e recursos necessários à continuação do mesmo.

No Capítulo 8 são feitas as considerações finais e as perspectivas pretendidas.

Capítulo 2

Sistemas Formais e Teoria das Categorias

*“... any idea or problem or body of knowledge can be presented in a form simple enough
so that any particular learner can understand it in a recognizable form.”*

Bruner

Neste Capítulo são apresentados os conceitos introdutórios dos Sistemas Formais da Computação, necessários à compreensão deste trabalho. Será apresentada a Teoria das Categorias [22], [102] apenas como uma recordação de conceitos rudimentares pois o objetivo aqui não é desenvolver Teoria das Categorias mas apresentar aqueles que serão efetivamente utilizados. Inicialmente, de modo a familiarizar o leitor nesta abordagem, será mostrado a Categoria dos Conjuntos, em seguida serão citados alguns exemplos. Em particular, de interesse neste trabalho será caracterizada a Categoria dos Conceitos e a Categoria dos Autômatas.

2.1 O que são sistemas formais?

O Dicionário Aurélio [65] apresenta seis significados para o termo *Formal*:

1. Relativo a forma;
2. Evidente, claro, manifesto, patente;
3. Preciso, próprio, genuíno;
4. Que não é espontâneo; que se atém às fórmulas estabelecidas; convencional;

5. Que é amigo de formalidades, de etiquetas; formalista.
6. Filos. Relativo às leis, às regras ou à linguagem próprias de determinado domínio do conhecimento, e que se consideram independentemente do conteúdo, da matéria ou da situação concreta a que se aplicam.

Embora todos os significados se apliquem a este trabalho em sua essência, ressalta-se que:

- Formal se refere a forma e portanto sistemas formais, são sistemas de manipulação de formas, sem preocupação do que estas formas significam no mundo real.
- A essência de um sistema formal é portanto sua sintaxe. Existe a semântica formal mas seu estudo foge ao escopo deste trabalho.

2.1.1 Origens dos sistemas formais

Segundo Martins [108], [109] a primeira notícia de que se tem de um sistema formal são os trabalhos de Euclides (300A.C.). Estes trabalhos organizam e sistematizam todo o conhecimento da época com relação à Geometria e são conhecidos sob o nome **Elementos**. Pela primeira vez, a apresentação é feita através de axiomas, definições, postulados, teoremas e demonstrações. É neste trabalho que se encontram as raízes dos conceitos de termos primitivos e dos outros mencionados de uso corrente atualmente.

O arcabouço básico dos Sistemas Formais são devidos a René Descartes (1596-1650) e de Leibniz (1646-1716) sobre linguagens e alfabetos. Frege (1848-1925), Peano (1858-1932), Whitehead (1861-1947) e Bertran Russel (1872-1970) e finalmente Wittgenstein (1889-1951) criaram a formalização como se costuma apresentar nos dias de hoje [109].

Na construção de um sistema formal deve-se concentrar atenção na forma com que se trabalha. As Linguagens Naturais (aquelas usadas entre seres humanos para se comunicarem) possuem ambigüidades que impedem seu uso para este propósito. Portanto, torna-se necessário, dar um passo na direção de evitar estas ambigüidades o que é feito usando um a linguagem constituída por um conjunto bem definido de símbolos e de regras de derivação, permitindo construir novos objetos a partir daqueles que se dispõe.

2.1.2 Representação de Sistemas Formais

Sistemas formais costumam ser representados por letras gregas maiúsculas. Por exemplo:

$$\Gamma, \Pi, \Sigma, \Omega, \Xi, \Psi$$

Para a representação de um sistema formal, algumas definições são feitas:

Definição 2.1.1 *Símbolo: Um símbolo é alguma coisa que pode representar qualquer outra. Um símbolo por si não tem significado.*

Definição 2.1.2 *Cadeia de símbolos: Quando se tem vários símbolos sucessivamente, tem-se uma cadeia.*

Definição 2.1.3 *Um alfabeto é um conjunto finito de símbolos. Os alfabetos serão denotados por letras gregas maiúsculas. Exemplos: Φ e Σ .*

Exemplo 2.1.1 *Exemplos de Alfabetos:*

- $\{a, e, i, o, u\}$ é o alfabeto constituído pelas vogais de nosso alfabeto.
- $\{I, V, X, L, C, M\}$ é o alfabeto formado pelos símbolos usados na numeração romana.
- $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ é o alfabeto formado pelos símbolos usados na numeração arábica.

Costuma-se ainda com relação a alfabetos, usar os seguintes símbolos:

Definição 2.1.4 *O conjunto de todas as cadeias finitas formadas com os elementos do alfabeto Φ é denotado por Φ^* .*

Definição 2.1.5 *A cadeia vazia, ou seja, aquela que tem 0 elementos é denotada por ε .*

Definição 2.1.6 *O conjunto Φ^* / ε , isto é, $(\Phi^* - \varepsilon)$ o conjunto de todas as cadeias finitas a partir do alfabeto, excluída a cadeia vazia será denotado por Φ^+ .*

Definição 2.1.7 *O comprimento de uma cadeia é o número de elementos da mesma. O comprimento da cadeia μ denota-se $\rho(\mu)$ ou $|\mu|$.*

Definição 2.1.8 *Regra de Derivação:* É uma regra de dedução (ou inferência, sem semântica) que tem um objetivo. Por exemplo, num conjunto associar um elemento a uma cadeia, é uma regra de derivação.

Seja o alfabeto Φ e seja $n \in \mathbb{N}$ um número natural. Uma regra de derivação é uma função:

$$F : \Phi^{*n} \rightarrow \Phi^*$$

Exemplo 2.1.2 *Sejam os dois elementos de $\Phi^* = \{., (xy), (car'), .\}$ Uma regra de derivação será:*

$$F : ((xy)(car')) \mapsto (car'(xy))$$

Que também se escreve:

$$\frac{(xy)(car')}{(car'(xy))}$$

Neste caso, não significa pegar o primeiro da lista pois não interessa o significado. Também não é uma divisão, é dado o que está em cima resulta o que está embaixo da barra. Se houve inversão dos elementos tem-se outra regra. Uma regra de derivação cria outros elementos.

Definição 2.1.9 *Um sistema formal é um par constituído por objetos e regras de derivação.*

$$\langle \Phi, D \rangle$$

Exemplo 2.1.3 *Num sistema formal, tem-se o conjunto de símbolos e o conjunto de regras de derivação. Seja o sistema formal que tem como objetos $\Phi (\{0, 1\})$ e três regras de derivação $D (\{\frac{\alpha}{0}, \frac{\alpha}{1\alpha}, \frac{\alpha}{10\alpha}\})$:*

$$\langle \Phi, D \rangle$$

é:

$$\langle \{0, 1\}, \{\frac{\alpha}{0}, \frac{\alpha}{1\alpha}, \frac{\alpha}{10\alpha}\} \rangle$$

Trata-se de um sistema capaz de gerar os números pares do sistema de numeração binário, mas esta interpretação é irrelevante para o sistema formal. Este sistema também poderia representar algo em outro domínio como em circuitos elétricos no qual o 1 representaria um circuito fechado e o 0 representaria o circuito aberto.

- A regra $\frac{\alpha}{0}$ poderia representar, se não tem nada no circuito tem-se um circuito aberto;
- A regra $\frac{\alpha}{1\alpha}$ poderia representar, se tem um circuito qualquer (α) tem-se um circuito fechado em série com um circuito qualquer (1α);
- A regra $\frac{\alpha}{10\alpha}$ poderia representar, se tem um circuito qualquer tem-se um circuito aberto paralelo com um circuito qualquer.

Assim, tendo-se duas coisas que têm a mesma forma, uma pode representar a outra!

Definição 2.1.10 *Composição de regras de derivação. Pode-se compor regras de derivação pela aplicação sucessiva de duas regras. Assim:*

$$r_1.r_2 = r_3$$

Esta composição de regras é como uma nova regra r_3 que não aparece na definição do sistema formal.

Definição 2.1.11 *Regra identidade: uma regra que nada faz é denominada de regra identidade r_i .*

Definição 2.1.12 *A Composição de regras de derivação é associativa, pois:*

$$r_1.(r_2.r_3) = (r_1.r_2).r_3$$

Assim, os Sistemas Formais geram categorias, cujos elementos são os da teoria definida pelo sistema formal e os morfismos são as regras de derivação.

2.1.3 Linguagens Formais

Um sistema formal de grande interesse em teoria da Computação é o das Gramáticas Gerativas [116]. Estas Gramáticas apareceram inicialmente no estudo de Lingüística para ajudar a melhor compreender as linguagens naturais. A definição de uma linguagem por gramáticas gerativas tem grande relação com o estudo dos Sistemas Formais, podendo mesmo ser considerado como exemplo destes sistemas. O estudo das linguagens formais, sob a forma de gramáticas gerativas é a base da teoria da interpretação e compilação. Juntamente com a Teoria de Automata, como reconhecedores das palavras válidas definidas nestas linguagens tem-se um arcabouço teórico perfeito para a compreensão e estudo de compiladores [57]. Além disso, entre as aplicações das linguagens formais estão nos modelos de crescimento em biologia, modelos de evolução biológica, etc. [30].

Definição 2.1.13 *Seja um alfabeto de referência Φ e o conjunto de objetos relativos a este alfabeto Φ^* . Uma linguagem é um subconjunto de Φ^* , isto é:*

$$L \subseteq \Phi^*$$

Quando se deseja explicitar o alfabeto escreve-se:

$$L_\Phi \text{ ou } L(\Phi)$$

Definição 2.1.14 Linguagem: *Ao conjunto de todos as seqüências de elementos do alfabeto que se podem formar denota-se por A^* . Uma linguagem L sobre um alfabeto A , também escrita LA é todo subconjunto de A^* .*

Num sistema formal tem-se um alfabeto e regras de derivação que permitem se chegar a todo um conjunto de elementos de uma determinada linguagem. Supondo-se que se diga que cada elemento da linguagem é um teorema desta linguagem, para deduzir o teorema aplica-se regras de dedução fazendo substituições em cima do alfabeto. Uma Teoria é o conjunto de objetos gerados por um sistema formal.

Numa teoria tem-se um conjunto de axiomas que podem ser falsos ou verdadeiros. A Dedução pode ser gerada pela aplicação de regras de derivação em uma seqüência de objetos. Formalmente, tem-se:

Seja a teoria Θ e uma seqüência de objetos $O = (o_1, o_2, o_3, \dots, o_s)$ obtidos sucessivamente pela aplicação das regras de derivação $R = (r_1, r_2, r_3, \dots, r_{s-1})$ de um sistema formal.

Tem-se que:

- R : dedução;
- O : passos da dedução;
- o_s : conclusão.

A potencialidade da sintaxe é ter uma representação para inúmeras coisas diferentes. Isto faz com que a utilidade de um sistema formal seja externa ao sistema formal. Assim métodos formais podem ser aplicados em diversos domínios, dependendo do contexto, como pode ser explicado na teoria das categorias.

2.2 Teoria das Categorias

O conceito de categoria nasceu da necessidade de formalizar o contexto de um discurso. Em um discurso tem-se essencialmente os objetos de que se fala e as ligações entre estes objetos. Podem existir ainda ligações que fazem com que objetos diferentes pertençam à mesma categoria. As Categorias podem ser:

- **Reais:** as que existem no mundo real e podem ser representadas por categorias abstratas. Elas podem ainda ser consideradas interpretações de categorias abstratas. Por exemplo, *Categoria dos artigos sobre esportes*: Os objetos são os artigos. As ligações são pares de esportes.
- **Abstratas:** entidades matemáticas, podendo ter várias interpretações. Por exemplo, Categoria dos Conjuntos (“Set”), Categoria dos Conjuntos Parcialmente Ordenados (“Poset”), Categoria dos Autômatas, Categoria dos Conjuntos Nebulosos, Categoria dos Espaços topológicos, etc.

Definição 2.2.1 *Categoria é o par (Ob, Mor) onde Ob são os **objetos** da categoria e Mor são os **morfismos** satisfazendo a:*

- *Morfismos se referem a pares de objetos; assim existe $Mor(Ob_1, Ob_2)$;*
- *Uma Composição de morfismos é um morfismo;*
- *A Composição de morfismos é associativa;*
- *Existe o morfismo identidade.*

2.2.1 Um Sistema Formal gera uma Categoria

A Figura 2.1 mostra um Sistema Formal gerando uma Categoria. Cada um dos elementos do alfabeto vira um objeto da categoria bem como todos os objetos são gerados pela utilização das regras de inferência ou dedução nos objetos da categoria. Assim, numa linguagem formal tem-se como objeto as palavras da linguagem e os morfismos associam, dada uma palavra da linguagem outra palavra dessa linguagem.

A Figura 2.2 mostra a representação dos objetos Ob_1 , Ob_2 , Ob_3 e morfismos Mor_{11} (identidade), Mor_{12} , Mor_{13} e Mor_{23} numa Categoria.

2.2.2 Representação de um Morfismo

Morfismos geralmente são representados por setas, iniciando no primeiro objeto e terminando no segundo objeto do morfismo.

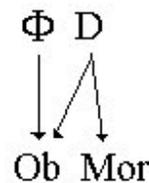


Figura 2.1: Sistema Formal Gerando Categoria

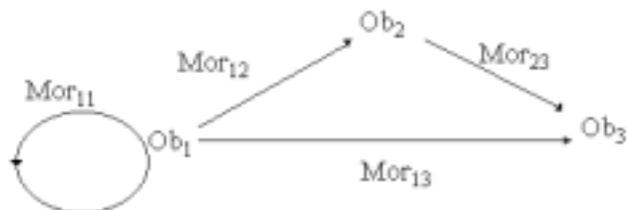


Figura 2.2: Representação dos objetos e morfismos numa Categoria

$$A \xrightarrow{f} B$$

Sobre a seta se escreve o nome do morfismo.

2.2.3 Diagramas

A utilização da representação de morfismos por setas permite a construção de diagramas. Os diagramas permitem visualizar claramente composições complexas de morfismos pois o ser humano compreende melhor desenhos do que números em tabelas.

Definição 2.2.2 Diz-se que um diagrama é **comutativo** quando, em todo par de objetos, o uso de todo percurso indicado pelos morfismos produz o mesmo resultado.

2.2.4 Tipos de Morfismos

A correspondência de objetos de um domínio em outro é produzida pelo morfismo, que preserva as características definidas em ambos. Por exemplo, no caso da Categoria dos Conjuntos os morfismos são funções. Os conjuntos podem ser manipulados dando outros conjuntos através de operações.

Monomorfismo

Analogamente, se $fg = fh \Rightarrow g = h$ então f é um monomorfismo conforme mostrado na Figura 2.3.

$$A \begin{array}{c} \xrightarrow{g} \\ \xrightarrow{h} \end{array} B \xrightarrow{f} C$$

Figura 2.3: Monomorfismo

Epimorfismo

Se o diagrama é comutativo, $gf = hf$. Se isto implica: $gf = hf \Rightarrow g = h$ então f é um Epimorfismo conforme mostra a Figura 2.4.

$$A \xrightarrow{f} B \begin{array}{c} \xrightarrow{g} \\ \xrightarrow{h} \end{array} C$$

Figura 2.4: Epimorfismo

Isomorfismo

Conforme a Figura 2.5 o morfismo f é monomórfico se g e h são iguais, ou seja $g = h$. Para que o caminho de B para C passando por h seja igual ao caminho de B para C passando por g seja igual, g deve ser igual a h para que f seja monomórfica. Da mesma forma f é epimorfismo sendo $l = k$ é igual a tudo que vai de C para D . Assim, f é isomorfismo porque é monomórfica e epimórfica.

$$A \begin{array}{c} \xrightarrow{g} \\ \xrightarrow{h} \end{array} B \xrightarrow{f} C \begin{array}{c} \xrightarrow{l} \\ \xrightarrow{k} \end{array} D$$

Figura 2.5: Isomorfismo

2.2.5 Categoria dos Conjuntos

Para caracterizar uma categoria precisa-se identificar objetos e morfismos. Supondo-se que sejam tomados por objetos conjuntos, morfismos terão que ser algo que associe conjunto a conjunto, havendo sentido em ter o primeiro conjunto e o segundo conjunto. Ora, um bom candidato a morfismo para a categoria dos conjuntos são funções, porque uma função tem um conjunto para seu domínio e outro conjunto para seu contradomínio.

Então, define-se a categoria dos conjuntos que tem por objetos (Ob) os conjuntos e por morfismos (Mor) funções definidas entre conjunto domínio e conjunto contradomínio. Verifiquemos se isto satisfaz aos axiomas de uma categoria.

Definição 2.2.3 *Função: Associa, dado um conjunto, a outro conjunto ou a ele mesmo. Então existe dado um morfismo (ou seja dado uma função) um conjunto domínio e um conjunto contradomínio.*

Definição 2.2.4 *Composição de funções: As funções podem ser compostas formando uma nova função. Dado duas funções f e g , existe uma função $h = f.g$, (isto é h é f composta com g).*

Definição 2.2.5 *Existe a função identidade: que é a função que manda um conjunto nele mesmo reproduzindo seus elementos. A composta de duas funções reproduz elementos ($h = f.g$) ou fazendo h (mesmo elemento). Ou seja, existe tanto a possibilidade de calcular o valor da função f e depois da função h quanto de calcular a função g . Evidentemente, esta função é comutativa e existe a função identidade.*

Conseqüentemente, as funções são elementos passíveis de serem escolhidos como morfismos na Categoria dos Conjuntos por atenderem os requisitos da Teoria da Categoria:

- Morfismos se referem a pares de objetos;
- Possibilidade de composição associativa de morfismos;
- Existe o morfismo identidade.

Na categoria de conjuntos [3], identifica-se a seguir o que são monomorfismos, epimorfismos e isomorfismos:

Teorema 2.2.1 *Monomorfismos são funções injetoras.*

$$\text{Se } fg = fh \Rightarrow g = h \text{ então } f \text{ é um monomorfismo.}$$

$$f, g, h \text{ são funções.}$$

Demonstração: Provando-se por absurdo:

Supondo-se que f não é injetora. Então existe b_1 e b_2 pertencente a B , existe ao menos um par b_1, b_2 no mesmo domínio (a imagem é mesma mas eles são diferentes). Isto é:

$$\exists!(b_1, b_2) \in B, b_1 \neq b_2 \text{ e } (b_1) = f(b_2)$$

Decorre que g e f podem ser diferentes. Se ela não for injetora pode haver a_1 (elemento de A) em que $h(a_1) = b_1$ e $g(a_1) = b_2$. Mas $fg = fh$, portanto, f deve ser injetora.

Para ser injetora todo elemento de C é imagem só de um B . Não existem dois elementos diferentes de B que dão a mesma imagem em C . Isto obriga que g e h sejam iguais. ■

Teorema 2.2.2 *Epimorfismos são funções sobrejetoras. Nesta categoria de conjuntos, denominada (Conj), f, g, h são funções.*

Demonstração: Fazendo-se demonstração por absurdo:

Supondo-se então que f não é sobrejetora. Se f não é sobrejetora existe ao menos um elemento b que pertence a conjunto B tal que b não é função de a pela função f . Ou seja, nem todo elemento do contradomínio é imagem de todos elementos.

$$\exists!b \in B, b \notin f(A)$$

Existe um elemento de B que não é imagem de nenhum elemento de A pela função f . Assim, mesmo que $g(b)$ seja diferente de $h(b)$ terá imagem de b que não é imagem de nenhum elemento de g e h pois h e g são funções definidas em todo domínio de B . Então, os elementos b que não são imagem de nada pela função f pertencem ao domínio de h e g . Observando-se a Figura 2.4 nota-se que, se $gf = hf \Rightarrow g = h$ então f é um epimorfismo, ou seja, todos os elementos de b são imagens de A . ■

Um exemplo, de interesse particular neste trabalho, é a categoria de conjuntos e sua relação com o Ensino: a categoria de conceitos a serem ensinados. Sua explicação é apresentada na próxima seção (2.2.6).

2.2.6 Categoria de Conceitos

A Categoria dos Conceitos é um exemplo da Categoria dos Conjuntos na qual os objetos são conceitos e os morfismos são funções entre conceitos. O processo de Ensinar envolve duas categorias: uma categoria de conceitos a serem ensinados e uma categoria de conceitos existentes na mente do aprendiz.

Ensinar é modificar a categoria de conceitos existentes no aprendiz incluindo na mesma elementos vindos da categoria de conceitos a serem ensinados. Para que um elemento da categoria de conceitos a serem ensinados possa chegar até o aprendiz é necessário passar por um meio (mídia) de comunicação. Deve-se então considerar que a categoria de conceitos a serem ensinados são limitados a mídia utilizada. Desta forma, a mídia tem um papel fundamental na eficácia da transmissão de conhecimentos, ou seja, o aprendizado. Se for utilizada a linguagem falada, deve ser observado que nem sempre é possível exprimir o pensamento com palavras. Conseqüentemente, apenas uma visão parcial do pensamento pode ser verbalizável. Isto formalmente significa que a categoria dos conceitos a serem ensinados (ou transmitidos) é projetada na categoria de conceitos transmissíveis pela mídia vocal, que é a que realmente vai atingir o aprendiz. Assim, a categoria dos conceitos a serem ensinados é projetada na categoria da linguagem falada (mídia) e esta vai à categoria dos conceitos existentes no aprendiz através de um funtor que faz a simplificação daquilo que é falado. O ato de gerar frases representando o pensamento é materializado pelo funtor que traduz a categoria de conceitos a serem ensinados na categoria das linguagens faladas para que os conceitos possam ser verbalizados como projeções do pensamento. Matematicamente, isto está explicando que: “nunca se consegue transmitir tudo o que se pensa”.

Por outro lado, os conceitos já existentes serão modificados com a adição de novos elementos da categoria de conceitos a serem ensinados oriundos da categoria de conceitos transmissíveis pela mídia. Esses novos elementos que vão se juntar na categoria de conceitos já existentes aumentando assim o número de seus elementos desta nova categoria. Novamente, através de um funtor inverso (processo de interpretação e compreensão) a categoria de conceitos existentes no aprendiz altera seu conteúdo. Quando não se entende uma frase isto significa, em termos formais, a incapacidade de fazer o funtor inverso. Se o funtor construído for muito diferente da imagem cognitiva que o aprendiz tem em seu cérebro ele pode entender uma frase parecida ou não entender o que foi dito na frase ¹. Isto formalmente quer dizer:

¹Isto ocorre quando existe ambigüidades, ou seja, quando dois pensamentos dão origem a mesma frase. Se dois pensamentos originam a mesma frase, na construção da imagem mental pode-se obter um pensamento ou outro. Em linguagem categórica isto deve-se à construção de funtores que não são monomórficos. Os funtores monomórficos dariam uma representação única.

“nunca se entende completamente o que o outro diz”.

Então do que foi exposto nesta abordagem categórica, no processo de ensino existe uma influência do meio que é utilizado. Conseqüentemente, se este meio for mais rico a transmissão de conhecimentos deverá, em princípio, ocorrer de melhor maneira e isto é a justificativa precisa, matemática, da necessidade de utilização de tantos meios auxiliares (fala, música, animações, imagens, filmes, etc.) quanto forem possíveis nos processos de Ensino-aprendizagem. O computador sendo uma ferramenta que capaz de criar multimídias pode aumentar a eficácia na transmissão dos conhecimentos.

2.2.7 O Problema do Contexto na Categoria de Conceitos

Como saber se duas pessoas, que estão conversando num dado momento, estão se entendendo? Geralmente, isto é feito detectando-se se as frases ditas estão dentro de um contexto comum. Ou seja, é necessário verificar se os contextos da imagem cognitiva de cada um são semelhantes. Como se pode perceber isso se as imagens cognitivas de cada pessoa não são acessíveis às outras? Uma pessoa pode perceber estas imagens cognitivas fazendo projeções² das imagens cognitivas da outra.

Quando uma pessoa fala, ela não exprime todo seu pensamento porque a palavra é incapaz de exprimir a totalidade do pensamento, por isso muitas vezes são usados gestos para complementar as palavras, teria-se então as projeções do pensamento. Quando duas pessoas que estão conversando fazem projeções dos seus estados cognitivos que fazem crer que o estado cognitivo de ambas é muito semelhante, diz-se que estas pessoas estão se entendendo. Caso contrário, se o estado cognitivo entre estas pessoas é totalmente diferente elas fazem o que se chama comumente de “conversa de surdos” (ou seja, uma não “ouve” a outra). Por exemplo, supondo-se a seguinte conversa entre duas pessoas (P1 e P2) do exemplo 2.2.1:

Exemplo 2.2.1 Estados cognitivos diferentes:

P1: Hoje vamos ter sol e calor o dia inteiro.

P2: Mas acontece que meu time ganhou ontem.

P1: Recebi uma carta da minha tia.

etc...

Chega-se a conclusão que os estados cognitivos são bem diferentes pois P1 fala no contexto de clima e P2 responde no contexto do futebol, em seguida P1 muda para outro contexto.

²Uma projeção é a simplificação daquilo que existe. Por exemplo, a projeção de um objeto de três dimensões em cima de um papel é um desenho deste objeto em duas dimensões.

Muito diferente do diálogo, telefônico, por exemplo, (no qual as pessoas se entendem) do exemplo 2.2.2:

Exemplo 2.2.2 Estados cognitivos semelhantes:

P1: Hoje vamos ter sol e calor o dia inteiro.

P2: Então vamos aproveitar para ir à praia.

P1: Certo, então vamos para a Tapera porque lá não tem ondas fortes.

P2: Ótimo! Então passa aqui que já vou colocar a roupa de banho...

etc...

Neste caso, o contexto é o mesmo. Os estados cognitivos das pessoas são semelhantes. Após P1 dizer que o dia estava ensolarado e quente, P2 sugere que fossem a praia. Apesar de P1 fez uma simplificação não mencionando que “Tapera” trata-se do nome de uma praia³, P2 entendeu que poderiam ir na praia da Tapera pois isto estava dentro do contexto. Se P2 não soubesse o que é Tapera, e que ondas fortes são fenômenos naturais encontradas em muitas praias, certamente perguntaria coisa do tipo “O que é Tapera? Onde fica?” e não falaria “o Cruzeiro é o melhor time do Brasil”.

Quando se começa uma conversação existe um processo de sintonia de estados cognitivos, no qual o estado cognitivo de uma pessoa é alterado para sintonizar com estado cognitivo do meio. Geralmente, através de perguntas sintoniza-se no estado cognitivo do outro porque este não sabe qual é o estado cognitivo do seu interlocutor e nem sua capacidade de desenvolvê-lo. Quando não é possível seguir o estado cognitivo do outro as pessoas fazem perguntas que são projeções de seu próprio estado cognitivo. A projeção do estado cognitivo de uma pessoa provoca a modificação do estado cognitivo da outra para que a mesma possa associar o seu estado cognitivo com o estado do outro.

Para que haja aprendizado é necessário uma sintonia de estados cognitivos [183]. Esta sintonia deve ser tal que permita uma transmissão de conhecimentos⁴.

A construção de frases é tentar fazer com que haja projeções do estado cognitivo da parte que não exista no estado cognitivo do outro através de um meio de transmissão de conhecimentos, ou seja da verbalização. Verbalizar é algo muito difícil mas é um processo de projeção de um estado cognitivo. Para efetuar estas projeções de pensamento é necessário que as pessoas façam seleções (por exemplo, do que

³A palavra Tapera origina-se do Tupi e também pode significar casa, aldeia ou fazenda abandonada além de outros significados que podem ser encontrados em [65].

⁴O conhecimento seria então dizer que existiria no estado cognitivo de uma pessoa mais coisas sobre um determinado assunto do que existe no estado cognitivo da outra.

vai dizer) e construir modelos. Estes modelos é o que se chama de contexto. No exemplo 2.2.1, P1 fala do clima e P2 fala de futebol, contextos diferentes. Assim se contextos mudam, estados cognitivos mudam, torna-se necessário para que duas pessoas se entendam, como no exemplo 2.2.2, é falarem dentro do mesmo contexto para que seus estados cognitivos sejam semelhantes e haja sintonização.

O contexto é base do estado cognitivo, então este estado cognitivo se desenvolve dentro de contextos. Observando um exemplo do uso da palavra “manga” no contexto das frutas conforme o exemplo 2.2.3 e outro no contexto das roupas como o exemplo 2.2.4:

Exemplo 2.2.3 Uso da palavra “manga” - Diálogo numa feira:

P1: - Esta manga está boa?

P2: - Uma delícia... vai levar uma?

P1: - Não, muito obrigada, prefiro levar abacate.

Exemplo 2.2.4 Uso da palavra “manga” - Diálogo numa alfaiataria:

P1: - Esta manga está boa?

P2: - Acho que você pode diminuir um pouco mais.

P1: - Mas não vou diminuir demais porque não se usa mais mangas de camisas tão curtas.

Observando o exemplo 2.2.3 o diálogo hipotético pode ser entre duas pessoas numa feira e no exemplo 2.2.4 pode se passar numa alfaiataria. Neste caso, o contexto é muito importante para eliminar ambigüidades. O problema todo da comunicação humana é o da definição de contextos.

No caso, do Ensino, uma aplicação é saber se um curso está adaptado ou não ao aluno. Se um curso não estiver adaptado ao aluno significa que o estado cognitivo necessário para a interpretação do conteúdo não é compatível com o estado cognitivo inicial dos alunos. Ou seja, é uma maneira formal de dizer que “o curso está difícil demais”. Uma solução, é o ensinamento de conceitos partindo-se dos mais simples aos mais complexos, aplicando-se na categoria que define o contexto da matéria, um functor denominado “esquecedor”, para produzir uma outra categoria mais simples, tendo-se assim uma nova categoria simplificada ou seja, só de conceitos que sejam capazes de ser transmitidos. De certa forma, isto é formalizar (através da Teoria das Categorias) da Teoria de Piaget e do Construtivismo .

2.3 Outras Categorias

A Teoria da Categoria dos Conjuntos ensina a raciocinar com funções em lugar de elementos. As demonstrações feitas em termos de elementos, são válidas nesta categoria denominada “Conj”, mas não são válidas em outras categorias, onde o raciocínio primitivo deve ser feito baseado em morfismos.

Uma categoria é construída de acordo com o referido contexto, no caso de Categoria de Conjuntos as funções foram escolhidas como morfismos, mas também é possível definir outros morfismos.

Exemplo 2.3.1 *Exemplo de categorias:*

- *Categoria dos Grafos - Objetos: Grafos, Morfismos: percursos;*
- *Categoria dos Nós de Grafos - Objetos: conjunto de nós, Morfismos: conjunto de arestas;*
- *Categoria de Estados do Autômata - Objetos: conjunto de Estados, Morfismos: dinâmica do Auômata.*
- *etc...*

2.3.1 Mudança de uma categoria a outra

Outro conceito importante neste trabalho é a mudança de contexto, ou seja mudança de categoria. Esta mudança de um contexto pode ser feita por um *Functor*. Esse Functor é o que associa uma categoria a outra ou uma categoria a ela mesma. Por exemplo, para a ligação da Categoria dos Conjuntos com a Categoria dos Autômatas usa-se um Functor.

Definição 2.3.1 Functor *é o objeto matemático que dadas duas categorias associa objetos a objetos e morfismos a morfismos, e que satisfaz os seguintes condições:*

- Existe o functor identidade que associa uma categoria a ela mesma.
- Os Funtores podem ser compostos dando novos Funtores.
- Os Funtores se compõem de modo associativo.

Nota-se que functor e morfismos são duas coisas bem distintas, morfismo associa objetos de uma categoria e um functor associa duas categorias. Um morfismo é representado por uma seta e o functor é representado por duas setas.

Os funtores podem ser monomórficos, epimórficos e isomórficos. Por exemplo, imagina-se o caso de duas categorias hipotéticas Cat_1 e Cat_2 e um funtor F que liga objetos destas categorias. Se a cada par de objetos de Cat_2 é associado um único par de objetos de Cat_1 este funtor é monomórfico (“mono” - só um). Se todos os pares de objetos de Cat_1 estão associados a Cat_2 este funtor é epimórfico (“epi” - todos). Se o funtor é monomórfico e epimórfico então ele é isomórfico. Isto é, todos pares de objetos Cat_1 estão associados a Cat_2 uma única vez e não existe nenhum objeto de Cat_2 ao qual não se tenha uma associação.

Neste trabalho, o funtor toma relevância por ser também a base de engenharia de programas, podendo-se imaginar um programa, sendo um transformador (funtor). Dado um conjunto de dados, que são estruturados, e relações entre esses dados, então pode-se definir uma categoria especificada de resultados. A formalização de um programa é então a formalização de um funtor que vai associar dados a resultados.

Funtor Esquecedor

Um exemplo de funtor não epimórfico é o transformador de categorias na analogia de sistemas elétrico-mecânicos, pois existem sistemas mecânicos que não correspondem a nenhum sistema elétrico. Assim, no contexto mecânico existiria elemento que não seria imagem de nenhum elemento do contexto elétrico, não existindo portanto funtor isomórfico.

Pode-se então utilizar um funtor esquecedor (“forget”) que desprezaria estes elementos indefinidos produzindo-se a simplificação na transformação do contexto elétrico-mecânico. O funtor esquecedor faz aproximações desprezando determinadas condições.

Também não existe funtor isomórfico na analogia de sistemas elétricos-químicos, pois nem tudo que existe no domínio elétrico existe no químico. O domínio elétrico é mais potente do que o químico porque possui armazenadores de energia (capacitor e indutor) que não tem imagem no químico. Entretanto, tudo o que existe no químico existe análogo elétrico. Para a transformação químico-elétrico deve se usar o funtor esquecedor porque o indutor, por exemplo, não é definido no análogo químico. Outras analogias como químico-termodinâmico também necessitam do funtor esquecedor.

2.3.2 Categoria dos Autômatas

Na Categoria dos Automatas [1], [170]⁵, os objetos são Autômatas e os morfismos podem ser escolhidos dentre as coisas que permitem associá-los. Pode-se identificar percursos como candidatos a morfismos quando atenderem as seguintes condições:

- Existir o Percurso Identidade - Dado um percurso, existe um percurso que retorna a seu ponto de partida;
- Existir o Percurso Composto Associativo - Dados dois percursos pode ser obtido um terceiro pela composição dos dois primeiros ou pela associação de percursos;

Na Categoria dos Estados de um Autômata, os morfismos podem ser a dinâmica deste Autômata, ou seja a mudança de estados. Assim pelas condições categóricas para que a dinâmica do Autômata seja escolhida como um morfismo deve:

- Existir a Dinâmica identidade (continuar no mesmo estado);
- Existir a Dinâmica composta associativa (ir de um estado a outro e depois a um terceiro estado ou ir diretamente do primeiro para um terceiro estado);

Mais detalhes sobre a Teoria dos Automata são encontrados no Capítulo 5.

A potencialização categórica não é única. É aquela que mais seja conveniente desde que satisfaça as condições para ser uma categoria. A Teoria das Categorias serve para simplificar o raciocínio unificando teorias através de funtores, podendo assim traduzir resultados de um domínio para o outro. Esta Teoria não oferece nenhuma ferramenta de cálculo a mais das que já existem mas oferece de maneira resumida de teorias, a compreensão [134] de fatos e uma linguagem muito potente de unir conceitos.

⁵Os conceitos básicos sobre estes sistemas são apresentados no Capítulo 5.

Capítulo 3

Aprendizados: Animal x Máquina

“Sinto muito Dave; Eu não posso deixar você fazer isso...” - Computador HAL 9000 em ‘2001: Uma odisséia no Espaço’ de Arthur C. Clarke.

Este capítulo apresenta as bases teóricas do aprendizado animal e de máquina. É feito um estudo comparativo entre aprendizado animal e de máquina. Considerando que o aprendizado é a base da inteligência, com a finalidade de mostrar a potencialidade dos métodos formais é oferecida uma resposta formal a clássica pergunta: “A Inteligência Humana é uma Função Computável?”

3.1 As bases teóricas da Aprendizagem Animal

A Aprendizagem é uma das áreas mais importantes nos sistemas de conhecimento e é extremamente difícil defini-la. O *American Heritage Dictionary* define a aprendizagem como: *“To gain knowledge, comprehension, or mastery through experience or study.”* [86].

Nos séculos XVII e XVIII haviam nitidamente duas correntes filosóficas, os estruturalistas que buscavam estudar a mente e a introspecção, a partir dos elementos básicos da consciência, e os “behavioristas”, ou comportamentalistas, que apenas se preocupavam em estudar o comportamento, tentando adaptar o modelo da física clássica ao seu estudo. O “Behaviorismo” foi iniciado por J.B. Watson [86] que acreditava que o objeto de estudo adequado para a Psicologia era o comportamento, não os eventos mentais. Segundo Ramos [145], o sucesso do pensamento cartesiano e newtoniano confere vigor à corrente comportamentalista que mantém, até hoje, grande influência no mundo contemporâneo.

Várias Teorias de Aprendizagem são aceitas e aplicadas nos modelos educacionais ao longo dos anos. Muito do conhecimento a cerca do aprendizado são devidas ao uso de animais (incluindo os humanos) nas experiências, algumas cruéis como as de Pavlov que utiliza cães nos seus experimentos¹. Linden [104] apresentou na Revista Time, de setembro de 1999, o “The Parrot’s Lament” contendo alguns exemplos de experiências atuais com animais, cujo condensado na língua portuguesa pode ser encontrado em [104].

Segundo Linden [104] a busca de processos mentais mais avançados nos animais (excluindo os humanos) iniciou-se no final dos anos 60, quando dois psicólogos ensinaram a um chimpazé fêmea, chamado *Washoe*, mais de 130 palavras da Linguagem Americana dos Sinais. O trabalho também provocou nos meios científicos um debate acirrado sobre a natureza da inteligência animal. É interessante colocar o que disse Linden sobre o aprendizado animal de macacos colocados para “imitar” os sinais humanos:

“... Durante anos venho escrevendo sobre as experiências com a inteligência animal e a controvérsia que as cerca. Tenho visto problemas que os cientistas encontram quando tentam examinar fenômenos impalpáveis como a linguagem e a formação de idéias. Os animais terão realmente pensamentos, o que denominamos consciência? Perguntando-me se poderia haver meios para explorar a inteligência animal mais eficazes do que experimentos destinados a ensinar sinais humanos, percebi o que hoje parece óbvio: se os animais pensam, é provável que pensem melhor quando isso servir a seus objetivos, e não quando os cientistas lhes pedirem que façam.

Assim é que comecei a conversar com veterinários, pesquisadores e tratadores. A maioria deles não estuda a inteligência animal, mas convive com ela (e com a falta dela) diariamente. As histórias que contam sobre animais que cuidam revelam aquilo que acredito seja uma nova janela aberta sobre a inteligência animal: o tipo de proezas mentais que os animais realizam ao lidar com o cativo e a espécie dominante no planeta - os seres humanos.”

E ainda, sobre o que Linden [104] afirma a respeito da inteligência evolutiva ...

“ ... Mas afinal, o que é a inteligência? Se a vida é a perpetuação da espécie e a inteligência destina-se a servir esta perpetuação -, então não chegamos nem aos pés das tartarugas marinhas, de cérebro minúsculo, que surgiram antes de nós e sobreviveram à calamidades que extinguiu os dinossauros. Mas é reconfortante pensar que outras espécies além da nossa podem parar e avaliar o mundo que as cerca, mesmo que seus horizontes sejam mais restritos do que os nosso.”

A seguir tem-se uma breve descrição sobre as teorias históricas que mais destacam

¹Na opinião da autora, que possui um lindo casal de cães da raça Akita, as experiências de Pavlov eram terríveis mas ela não deixa de reconhecer a importância científica destes trabalhos.

no aprendizado animal, cujos fundamentos são úteis na compreensão do escopo deste trabalho:

3.1.1 Associacionismo

O Associacionismo é uma corrente filosófica que acredita que as idéias podem ser explicadas por *Leis de Associação* de Aristóteles [164]. As Leis de Associação são princípios tais como similaridade, contraste, adjacência e freqüência, que são supostas, para explicar como uma idéia está relacionada com outra ou como uma experiência provoca idéias relacionadas à ela.

Pavlov

Ivan Petrovich Pavlov nasceu na Rússia em 1849 e morreu em 1936. Em 1904, ganhou o Prêmio Nobel devido a seu trabalho sobre a Fisiologia da Digestão. Com Pavlov, a ciência viu a importância da descoberta acidental. Seu método de estudo da digestão envolvia um arranjo cirúrgico no qual observava os reflexos de um cão, o qual denominou de *reflexos condicionados*. A Figura 3.1 mostra o dispositivo experimental de Pavlov desenvolvido para testar estes reflexos. A saliva do cão era levada, por um tubo a uma proveta e movia uma alavanca ligada a uma pena detrás do anteparo à esquerda. Cada gota de saliva era registrada por uma marca no cilindro giratório.



Figura 3.1: Dispositivo Experimental de Pavlov

Para Pavlov os ingredientes necessários a este condicionamento eram:

1. um estímulo incondicionado (“unconditioned stimulus” - UCS), o qual provoca uma resposta natural e automática de um organismo;
2. uma resposta incondicionada (“unconditioned response” - UCR), o qual é uma resposta natural e automática provocada por um UCS;

3. um estímulo condicionado (“conditioned stimulus” - CS), o qual é um estímulo neutro que não provoca uma resposta natural e automática no organismo.

Quando estes ingredientes são misturados de certa maneira, ocorre uma resposta condicionada (“conditioned response” - CR).

Pavlov fez várias considerações sobre o fenômeno de condicionamento. Uma das suas considerações afirma que os centros cerebrais, se repetidamente ativados, formam conexões temporárias e o estímulo de uma área pode provocar o estímulo da outra. Assim, se um som característico é insistentemente apresentado a um cão, antes de lhe dar comida, a área do cérebro estimulada pelo som formará uma conexão temporária com a área que responde pela alimentação. Quando esta conexão é formada, a apresentação do som fará o animal agir como se a comida estivesse presente.

Os princípios “Pavlovianos” foram difíceis de aplicar na educação mas podem estar associados a aversões que os estudantes podem desenvolver. A codificação de atitudes e emoções envolvidas no aprendizado devem ser considerados em qualquer programa educacional para evitar tais aversões provocadas por condicionamentos.

Guthrie

Edwin Ray Guthrie nasceu em 1886 e morreu em 1959. Foi professor de Psicologia na Universidade de Washington de 1914 à 1956. Seu famoso livro “The Psychology of Learning” foi publicado em 1935 e revisado em 1952. Segundo Hergenhahn [86] Guthrie era um comportamentalista mas como afirmava que era possível explicar todos os fenômenos de aprendizado usando somente um princípio (Leis de Associação de Aristóteles) é conveniente colocar sua teoria behaviorista dentro do paradigma associacionista. Mais detalhes podem ser obtidos em [86].

Guthrie inicia o processo educacional partindo dos objetivos, a prática tem também importância e causa mais estímulos para provocar o comportamento desejado. Guthrie poderia dizer que aprender “dois mais dois” no quadro negro não garante que os estudantes adicionarão “dois-mais-dois” em suas mentes. Os estudantes não devem somente aprender que “dois blocos vermelhos mais dois blocos vermelhos são iguais a quatro” mas também fazer novas associações de “dois-mais-dois-igual-quatro” com maçãs, cães, livros e assim por diante.

3.1.2 Funcionalismo

O Funcionalismo foi a primeira escola americana de Psicologia. A meta de um funcionalista era descobrir como os processos mentais e comportamentais estavam

relacionados na adaptação de um organismo ao seu meio ambiente. Os membros desta escola eram fortemente influenciados pelo trabalho de Darwin [86].

Thorndike

O trabalho de Edward L. Thorndike (1874-1949) foi pioneiro não somente na teoria do aprendizado mas também na área de práticas educacionais, comportamento verbal, psicologia comparativa, teste de inteligência e aplicação de medidas para problemas sócio-psicológicos.

Fez a primeira tentativa formal de ligar eventos sensoriais ao comportamento. Enfatizou os aspectos funcionais do comportamento. Para ele, a forma mais básica de aprendizado era o aprendizado por tentativa e erro através da experimentação. Ele considerava a aprendizagem como meio de resolver problemas.

Considerava o método de tentativa e erro como um processo pelo qual quem aprende desenvolve associações mentais, ou “conexões”, que lhe permitem resolver problemas. Segundo Thorndike “Aprender é conectar”. Sua denominada *Lei do Efeito* declarava que qualquer conexão que produzia um estado satisfatório tenderia a ser repetida. Por exemplo, desenvolveu experiências com gatos mantendo-os dentro de caixas com fome e para que pudessem sair deveriam soltar uma taramela colocada no interior da caixa. Assim, o gato tenderia a repetir o comportamento que ajudava-o a sair da caixa e chegar à sua comida.

O aprendizado seria, então, incremental. Assim, a solução para um determinado problema seria em função de sucessivas tentativas. Concluiu também que o aprendizado era direto e não mediado pelo pensamento e o raciocínio. Ele acreditava fortemente que os processos educacionais deveriam ser estudados cientificamente. Em muitos pontos Thorndike discordava das noções tradicionais sobre a educação. Foi criticado, nos seus estudos, por reduzir o comportamento humano em reações automáticas que “destroem os valores humanos”- diziam seus críticos [86].

A aplicação da teoria de Thorndike na educação pressupõe que a matéria a ser ensinada seja ordenada com os objetivos claramente definidos. Esses objetivos educacionais devem estar dentro das capacidades de resposta dos estudantes e devem ser divididos em unidades gerenciáveis. O aprendizado procede do simples ao complexo. O comportamento do aprendiz é determinado primeiramente por recompensa externa e não por motivação intrínseca [86].

A ênfase, seguindo a Teoria de Thorndike, é de se obter respostas corretas a certos estímulos. As respostas incorretas são corrigidas rapidamente e não praticadas. Portanto, as avaliações são importantes: elas oferecem a realimentação do estudante ao professor quanto ao processo de aprendizado. Se os estudantes aprendem bem a lição então eles são recompensados rapidamente. Se aprendem algo incorretamen-

te, seus erros devem ser corrigidos rapidamente; portanto, as avaliações devem ser regulares.

Para um professor “Thorndikeano” a situação do aprendizado deve ser feita para assemelhar-se, o máximo possível, com o “mundo real”. Thorndike acreditava que o aprendizado deveria ser transferido da sala de aula ao ambiente externo somente se as situações fossem similares. Portanto, ensinar Latim, Matemática ou Lógica seria somente justificável quando os estudantes fossem resolver problemas envolvendo tais conceitos quando deixassem a escola.

Skinner

Burrhus Frederic Skinner [162], [163] nasceu em Susquehanna, Pennsylvania, em 1904. É considerado um dos mais influentes psicólogos da atualidade. Pesquisador da teoria funcionalista, desenvolveu o *aprendizado programado*. Estudioso do comportamento distinguiu dois tipos: o *comportamento respondente* que é provocado por um estímulo conhecido e o *comportamento operante* que não é provocado por estímulo conhecido mas simplesmente emitido pelo organismo [162].

Skinner, assim como Thorndike, estava muito interessado em aplicar a teoria do aprendizado no processo educacional. Para Skinner, o aprendizado procede mais efetivamente quando ocorrem três coisas:

1. a informação a ser aprendida é apresentada em pequenos passos;
2. a realimentação deve ser fornecida rapidamente para corrigir o aprendizado;
3. os estudantes são capazes de aprender em seu próprio ritmo.

Skinner propôs o aprendizado programado que incorpora estes três princípios. Para Skinner, os objetivos do curso devem ser completamente especificados antes do início das aulas. Além disso, ele insistia que os objetivos fossem definidos *comportamentalmente*, ou seja, se a unidade é designada para ensinar história ele poderia perguntar: “O que os estudantes *fazem* quando eles estão entendendo história ?”.

Na melhor tradição behaviorista, Skinner [162] insiste em definir a aprendizagem somente em relação com comportamento:

“... *Podemos ensinar diretamente o comportamento. Em lugar de transmitir informações ao aluno, podemos simplesmente produzir o comportamento que é aceito como sinal de que ele possui a informação...*”.

Nesta visão, se os objetivos educacionais não forem especificados comportamentalmente, os professores não terão uma maneira de saber se os objetivos do curso

foram atingidos. Assim, como a maioria dos “behavioristas”, o professor “Skinneriano” começaria do simples e seguiria ao mais complexo. Assim como é para Thorndike, a motivação para Skinner é importante somente na determinação de que ela agirá como um reforço para um dado estudante. Os reforços secundários são muito importantes também, desde que sejam usados na sala de aula. Exemplos de reforços secundários incluem elogios orais, expressões faciais positivas, estrelas, congratulações de sucesso, pontos, graus, etc. É importante para o professor “Skinneriano” corrigir as respostas cada vez que ocorrem erros no estágio inicial do ensino. Depois, isto é feito regularmente.

Skinner produziu diversas máquinas de ensinar para aplicação de suas teorias de aprendizagem. Algumas exemplos destas máquinas serão apresentadas no Capítulo 4.

Hull

Clark L. Hull (1884-1952) teve influência mundial na teoria do aprendizado. Seu famoso livro “*Principles of Behavior*” foi apresentado em 1943 e mudou radicalmente o estudo do aprendizado. Sua teoria foi denominada de *Lógica Dedutiva*. Esta teoria tem uma estrutura lógica de postulados e teoremas parecidos com a geometria euclidiana. Os postulados são declarações gerais sobre o comportamento os quais não podem ser diretamente verificados. A seguir tem-se os maiores conceitos teóricos envolvidos em seus postulados:

- existe um traço de estímulo após alguns segundos mesmo que o evento do estímulo tenha terminado;
- quanto mais complexos forem os estímulos mais difícil é a predição do comportamento;
- o comportamento não é aprendido, o organismo nasce com algumas respostas que são executadas quando necessário;
- se um estímulo leva a uma resposta e se a resposta resulta em uma satisfação de uma necessidade biológica então a associação entre o estímulo e resposta conduz satisfação das necessidades aos pares;
- a capacidade de um estímulo (que não seja usado no condicionamento²) provocar uma resposta condicionada é determinada pela similaridade do estímulo usado no condicionamento;

²O condicionamento é um procedimento experimental usado para modificar o comportamento.

- a deficiência biológica em um organismo produz um estado de impulso e cada impulso tem um estímulo associado a ele;
- a reação é em função do impulso e sua intensidade;
- as respostas requerem trabalho e, portanto, causam fadiga;
- a fadiga pode causar como resposta *a não resposta* (inibição condicionada);
- alguns fatores podem inibir a resposta do aprendiz ou seja, existe uma potencialidade inibitória que varia de um momento a outro e opera contra a provocação da resposta;
- existe um período de latência quando o estímulo é apresentado e a resposta.

3.1.3 Cognitivismo

O Cognitivismo relaciona a natureza do aprendizado com as estruturas cognitivas. As estruturas cognitivas são esquemas (pensamentos) que um organismo possui em um dado momento e com os quais interage com o seu ambiente físico. Uma estrutura cognitiva resulta da maturação biológica e da experiência acumulada. A estrutura cognitiva não só é afetada pela experiência mas também determina o que pode ser experimentado [171]. Se um evento físico não pode ser assimilado parcialmente na estrutura cognitiva de um organismo então este evento físico não constitui um estímulo biológico.

Gestalt

A Teoria “Gestalt” é devida a um grupo de psicólogos alemães motivados pelo artigo de Max Wertheimer (1880-1943) [86]. O movimento apareceu em 1912 considerando o aprendizado como um fenômeno cognitivo. O aprendiz pensa sobre todos os ingredientes necessários para resolver um problema e coloca-os juntos (cognitivamente) primeiro de uma maneira e depois de outra, até que o problema seja resolvido. Quando a solução vem, ela vem de repente, ou seja, o organismo ganha um discernimento na solução de um problema. O problema pode existir em dois estados: resolvido e não resolvido. Não existe uma solução parcial.

Enquanto Thorndike acreditava que o aprendizado era contínuo e aumentava sistematicamente em pequenas porções como uma função de tentativas reforçadas, os “Gestaltistas” acreditavam que cada solução é atingida ou não. Assim o aprendizado seria descontínuo.

Para um professor “Gestaltico” as partes devem ser sempre relacionadas com o todo afim de que tenha algum significado para o estudante. Nomes históricos e datas tem pouca importância, a menos que sejam relacionados com os eventos correntes ou com alguma personalidade importante para o estudante. Por exemplo, a compreensão de história é obtida por eventos individuais. Todavia, o entendimento de história é sempre maior do que a soma dos eventos individuais.

Os gestaltistas viam os problemas como “a criação de um desequilíbrio organizacional na mente do estudante” que persistiria até que o problema fosse resolvido [86].

Jean Piaget e Construtivismo

Jean Piaget [137], [138], [139] nasceu em 1896 em Neuchâtel na Suíça [86]. É conhecido como sendo o fundador da Epistemologia Genética, que descreve o desenvolvimento intelectual em termos da maturidade e da experiência³.

De acordo com os estudos de Piaget [137], a criança nasce com poucos esquemas sensorio-motores (“sensorimotor schematas”), os quais oferecem uma estrutura para suas interações iniciais com o ambiente. As primeiras experiências da criança são determinadas por estes esquemas sensorio-motores. A resposta ao ambiente físico de acordo com as estruturas cognitivas existentes é denominada *assimilação*⁴. Por meio da experiência, todavia, estes esquemas iniciais são modificados. Cada experiência contém elementos únicos a fim de que a estrutura cognitiva possa ser acomodada⁵.

A *Acomodação* pode ser equiparada ao aprendizado. Através da interação com o ambiente e mudanças na estrutura cognitiva existirá o crescimento intelectual constante através de inúmeras experiências. Este processo é lento, pois um novo esquema sempre envolve o previamente existente. Desta maneira, o crescimento intelectual inicia com a criança respondendo reflexivamente ao ambiente, desenvolvendo pontos onde seja capaz de ponderar os eventos e explorar mentalmente os resultados possíveis.

Um processo de “interiorização”, segundo Piaget [137], permite que as crianças façam manipulações simbólicas sem a necessidade de lidar diretamente com o ambiente. O desenvolvimento das ações interiorizadas oferecem capacidade para criança lidar com meios altamente complexos. Ao lidar com ambientes mais complexos, elas

³No prefácio do livro “Embodiments of Mind” de McCulloch [113], Papert sugere que a Epistemologia Genética seja inspirada nas idéias de McCulloch, filósofo que apresentou o primeiro modelo de neurônio.

⁴A assimilação refere-se ao “casamento” entre a estrutura cognitiva e o ambiente físico.

⁵Modificação das estruturas cognitivas como resultado de experiências que não são assimiladas nas estruturas cognitivas existentes.

se tornam capazes de desenvolver suas ações intelectuais. A partir do momento que suas estruturas cognitivas estão mais articuladas constroem seus ambientes físicos.

O termo *inteligência* é usado por Piaget [145] como toda atividade adaptativa. Os comportamentos das crianças variam e a diferença está na estrutura cognitiva disponível em cada uma. Para Piaget [137], uma ação inteligente sempre tende a criar um equilíbrio entre o organismo e seu ambiente sob determinadas circunstâncias [139]. O nome deste estado equilibrado é denominado *Equilibração*.

Nos estudos de Piaget [137], [138] pode-se acompanhar a evolução da inteligência desde de suas primeiras manifestações, observando a criança construindo e coordenando suas ações mentais, elaborando sua intuição espacial até atingir a capacidade de adaptação e criação. Embora afirme que o desenvolvimento intelectual seja contínuo durante a infância, Piaget [139] decidiu denominar estes estágios do desenvolvimento intelectual descrevendo quatro grandes estágios:

1. sensório-motor: no qual a criança lida diretamente com o ambiente utilizando seus reflexos inatos;
2. pré-operatório: a criança inicia a formação de conceitos rudimentares;
3. operatório-concreto: a criança utiliza ações interiorizadas ou pensamentos para resolver seus problemas na sua experiência imediata;
4. operatório-formal: a criança pode ponderar completamente situações hipotéticas.

Crianças de mesma idade e mesma cultura tendem a ter estruturas cognitivas similares, mas é inteiramente possível que elas tenham diferentes estruturas cognitivas e, portanto, requerem diferentes tipos de materiais de aprendizado. Um material educacional pode não ser assimilado ou pode ser completamente assimilado pela criança, assim nenhum aprendizado será efetuado. De maneira que os materiais possam ser aprendidos devem ser parcialmente conhecidos e parcialmente desconhecidos. A parte conhecida será assimilada e a parte desconhecida necessitará da modificação da estrutura cognitiva da criança (acomodação).

Ao processo de construção do conhecimento através do desenvolvimento intelectual segundo Piaget, denominou-se *Construtivismo*. O Construtivismo pode ser visto mais como uma filosofia do que uma estratégia. Em geral, é rejeitada a idéia que uma estratégia particular instrucional é inerentemente Construtivista.

Em geral, o Construtivismo tende a ser mais holístico e menos mecanicista que as teorias tradicionais de processamento das informações. As pessoas tomam sentido de seu mundo retirando a informação do ambiente e assimilando-as em seus esquemas pré-existentes e entendimentos [38].

A Teoria de Piaget [139] tem grande efeito na Educação. Para Piaget, a educação ótima envolve suaves mudanças nas trocas de experiências para o estudante afim de que os processos duais de assimilação e acomodação promovam o crescimento intelectual. De modo a criar tal experiência o professor deve conhecer o nível de funcionamento da estrutura cognitiva de cada estudante. Piaget e os behavioristas tem um ponto comum quando consideram que a educação deve ser um processo individualizado. Todavia, Piaget enfatiza o processo e não aos desempenhos finais. O caminho para o desenvolvimento é resultado de estruturações e reestruturações progressivas, que ocorrem da ação do sujeito sobre o meio e vice-versa (ações recíprocas) [86].

Na aplicação da Informática na Educação são encontrados inúmeros trabalhos Construtivistas [59], [60], [63], [64], [136]. Muitos destes trabalhos utilizam a Inteligência Artificial [38], [140], [141], [179]. A Inteligência Artificial Construtivista pode ser capaz de auxiliar na adaptação de modelos tradicionais e estratégias instrucionais para projetar sistemas de ensino nos quais as experiências educacionais devem ser construídas em torno da estrutura cognitiva do estudante. Os construtivistas evitam a formulação de modelos para o processo de ensino-aprendizado. Os modelos construtivistas não são sistemas construídos. Assim suas teorias são mais parciais e por tentativas, procurando conectar o conhecimento com a prática e dependendo do contexto. Embora a tecnologia seja uma parte integrante da Informática Educativa, qualquer programa que pretenda êxito tem que focar as necessidades instrutivas dos estudantes, em lugar da própria tecnologia. É essencial considerar os fatores culturais e socio-econômicos, interesses e experiências, níveis educacionais e familiaridade com métodos utilizados.

Tolman

Edward Chace Tolman (1859-1959) nasceu em Newton, Massachussets. Foi um grande pacifista, publicando em 1942, seu livro “Drives Toward War” [86].

Segundo Wilson [181] Tolman, que se auto intitulava de “Psicólogos dos ratos”, introduziu o conceito de mapas cognitivos (proposto em 1948). Isto é, “... que ao longo da aprendizagem, algo como um mapa de campo do ambiente se formava no cérebro do rato...” . A Figura 3.2 ilustra um procedimento no qual um rato “aprende” o que deve fazer, num caso difícil por dois métodos: o de tentativa e erro e o de condicionamento. Momentos antes de acender a luz, aplica-se ao chão, embaixo do rato, uma corrente elétrica. Logo, ele aprende, por ensaio e erro, a saltar a tábua para fugir do choque. Com a repetição disso, o rato aprende a associar o desconforto produzido pelo choque ao prévio aviso luminoso. Esse condicionamento muda ainda mais seu comportamento: quando vê a luz salta sem esperar pelo choque. Na letra

(a) da Figura 3.2 o rato vê a luz que acende, na letra (b) é ligada a corrente, o rato salta. Na letra (c) o rato alerta começa a notar a luz, na letra (d) quando é religada a corrente, o rato salta e na letra (e) o rato condicionado salta quando a luz é acesa.

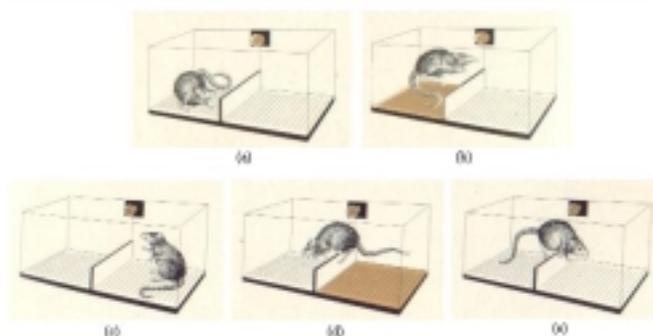


Figura 3.2: “Educação de um rato”. Fonte: [181]

A Teoria de Tolman, conforme afirma Hergenhahn [86], é um misto da Teoria Gestalt e do Behaviorismo. Tolman, assim como os gestaltistas, enfatiza o pensamento e o entendimento. De acordo com a Teoria de Tolman [86] é importante que os estudantes testem hipóteses na resolução de problemas.

Assim como um professor “Gestaltico”, um professor “Tolmaniano” encorajaria pequenos grupos para discussões em classe. O “Tolmaniano” oferece oportunidades, individuais ou em grupo, para que os estudantes elaborem estratégias de resolução de problemas. Este professor auxiliaria os estudantes no teste de suas hipóteses oferecendo experiências que confirmem tais hipóteses quando elas estiverem corretas.

Assim como na Teoria Gestáltica, Tolman sugere que sejam expostos tópicos com diferentes pontos de vista. Isto permite aos estudantes desenvolver um mapa cognitivo⁶ que poderia ser utilizado para responder questões sobre um tópico particular e um tópico relacionado.

Outro ponto comum com os teóricos da Gestalt é que Tolman também poderia dizer que o reforço extrínseco é desnecessário. O aprendizado, de acordo com Tolman, ocorre constantemente. Os estudantes desenvolvem suas expectativas ou crenças conforme a realidade [86].

Bandura

Albert Bandura nasceu em Alberta no Canadá em 1925 [86]. A teoria de Bandura tem muitas implicações para educação. Pode-se dizer que Bandura acreditava que qualquer coisa que pode ser aprendida pela experiência direta também pode ser

⁶Um mapa cognitivo é um quadro mental do ambiente.

aprendida pela observação. Ele também acreditava que modelos são mais efetivos se eles têm força para explicar os fenômenos.

Um professor seguidor da Teoria de Bandura poderia, através de um planejamento cuidadoso, ensinar não só a informação rotineira mas também as estratégias para resolução de problemas, códigos morais, normas, etc. O resultado desta modelagem da conduta é padronizar a auto-avaliação ou a auto-crítica [86].

O mais interessante desta teoria é enfatizar as considerações nos processos *motores*, processos de *atenção*, *retenção* e de *motivação* dos estudantes. Estas considerações feitas pelos professores são importantes para o aprendizado. Assim, observa-se que, de acordo com esta teoria, filmes, televisão, leitura, transparências e outras mídias podem ser usadas numa ampla variedade de experiências educacionais. Mais detalhes sobre a Teoria de Bandura podem ser encontrados em [86].

3.1.4 Teoria Neurofisiológica

Donald Hebb [85] foi o maior representante da Teoria Neurofisiológica. Nasceu em 1904 em Chester, Nova Escócia e em 1936 defendeu seu doutorado em Psicologia na Universidade Harvard. Fez sua carreira acadêmica na McGill University em Montreal, onde tornou-se um influente teórico da relação entre o cérebro e o comportamento. Sua obra mais importante é “Organization of Behavior” de 1949 e que teve grande influência no desenvolvimento do Conexionismo [86]. Hebb tomou uma abordagem biológica para a Psicologia combinando comportamento e neurofisiologia. Seu livro “A Textbook of Psychology” promoveu sua posição psicológica e foi traduzido para cerca de 11 idiomas [85].

Para Hebb havia dois tipos de aprendizado: o primeiro, que envolve a construção do circuito neuronal [21] nos primeiros anos de vida e, o segundo, caracterizado na fase adulta.

O primeiro tipo resulta em objetos e eventos, do ambiente que fazem a representação neurológica. Quando o desenvolvimento neural acontece, a criança começa a pensar em objetos e eventos, ou uma série de objetos e eventos, que não estão fisicamente presentes. Neste sentido, cópias destes objetos ambientais existirão então no sistema nervoso da criança. Durante este aprendizado inicial é importante para a criança desenvolver experiências em um ambiente enriquecido. Um ambiente enriquecido consiste de uma variedade de cenas, sons, texturas, formas, objetos e assim por diante.

O ambiente deve ser representado de acordo com a sua complexidade, as representações variam desde as representações neurológicas, as neuronais até o pensamento. Assim, um professor “Hebbiano” ao lidar com crianças muito jovens poderia criar um ambiente educacional com uma larga variedade de eventos. De acordo com Hebb, é

durante o aprendizado inicial que certos princípios comportamentais (os princípios da Teoria behaviorista) podem operar.

O segundo tipo de aprendizado, de acordo com Hebb, é explicado mais pelos princípios da teoria “Gestaltica” do que pelo “behaviorismo” [86]. Uma vez que as células foram desenvolvidas, o aprendizado subsequente envolve o “rearranjo” do primeiro. Ou seja, uma vez que os blocos construtivos foram estabelecidos eles podem ser rearranjados em um número infinito de configurações. Este tipo de aprendizado é então perceptivo, rápido e de discernimento. Assim, a tarefa do professor ao lidar com adultos é ajudá-lo a ver o que aprendeu de novas e criativas maneiras.

Hebb também sustentava que as características físicas do ambiente de aprendizado são muito importantes. Para qualquer tarefa dada e para qualquer estudante existe um nível ótimo de interesse que permitirá um aprendizado mais eficiente. Desde que este nível de interesse é controlado primariamente por um estímulo externo, o nível de excitação no ambiente de aprendizado determinará como este se efetuará. Se existe bastante estimulação (tal como tumulto na sala de aula) o aprendizado será dificultado. E se ao contrário, existir pouca estimulação (sala de aula quieta) o aprendizado também será dificultado. Assim, é necessário um nível ótimo de estimulação para ambos a tarefa e o estudante.

3.2 Aprendizado de Máquina

Uma característica óbvia do aprendizado humano é sua lentidão. Muitas vezes são necessárias décadas para que o seres humanos aprendam alguma coisa. O *aprendizado de máquina* (“Machine Learning”) pode ser visto como um esforço para tornar o aprendizado humano mais rápido, mas este processo ainda é extremamente lento. Outra característica do aprendizado humano é que não podem ser feitos processos de cópias. Num computador, uma vez que se tenha depurado o programa, compilado e rodado podem ser feitas muitas cópias. Em princípio, uma vez que um computador aprendeu algo - todos aprenderam. Um vez que se tenha um algoritmo para desenvolver determinada tarefa este não precisa ser reinventado. Por exemplo, uma pessoa que sabe muito bem literatura não pode transferir, de modo direto, seu conhecimento e habilidade de interpretar textos para outra pessoa. Segundo Simon [160] “uma pessoa sabe o que está em sua cabeça mas não sabe em que linguagem isto está codificado”. Ou seja, uma dos motivos da lentidão deste processo de aprendizado humano seria a impossibilidade de cópias e transferência de programas.

No aprendizado de máquina, logo que o programa é depurado, compilado, ele pode ser rodado na máquina. O computador faz o que a Psicologia denomina de “aprendizagem por tentativa”. Embora lento, o aprendizado humano está mais próximo do ótimo no desenvolvimento de diversas tarefas. É natural que se procure construir programas de computador que auxiliem na superação da ineficiência do aprendizado humano mas existe a possibilidade de que muitos destes programas não possam ser construídos para desenvolver tarefas inerentemente humanas.

Uma definição satisfatória sobre o aprendizado de qualquer sistema (humano ou não) é que ele seja capaz de desenvolver, em face a mudanças, uma tarefa melhor do que desenvolveu anteriormente. Simon [160] afirma que:

“... Learning denotes changes in the system that are adaptive in the sense that they enable the system to do the same task or tasks drawn from the same population more efficiently and more effectively the next time...”

Para o aprendizado humano auxiliado pelo computador a questão não é o ajuste do sistema humano para que tenha maiores capacidades. O interesse é que as pessoas adquiram a habilidade de desenvolver uma ampla faixa de tarefas auxiliadas por algo mais próximo delas - no caso, um computador “inteligente”.

Segundo Carbonell [44] *“... Learning is a many-faceted phenomenon. Learning processes include the acquisition of new declarative knowlegde, the development of motor and cognitive skills through instruction or practice, the organization of new knowlegde into general, effective representations, and the discovery of new facts and theories through observation and experimentation. Since the inception of the computer era, researchers have been, and remains, a most challeging and fascinating*

long-range goal in the artificial intelligence (AI). The study and computer modeling of learning processes in their multiple manifestations constitutes the subject matter of machine learning...

O aprendizado de máquina é organizado de forma a desenvolver a análise de sistemas de aprendizado para aumentar seu desempenho em tarefas pré-determinadas [164], a pesquisa e simulação computacional dos processos de aprendizado humano [76], a exploração teórica do espaço de possíveis métodos de aprendizado [111], [134] e algoritmos independentes [82] do domínio de aplicação.

3.2.1 Psicologia e Filosofia Computacional

O objetivo da Psicologia Computacional é entender o comportamento humano, dito inteligente, através da criação de programas de computador que comportam-se da mesma maneira que as pessoas. Para alcançar este objetivo é importante que o algoritmo expresso pelo programa seja o mesmo que as pessoas realmente usam e que as estruturas de dados utilizadas sejam as mesmas utilizadas na mente humana. O programa deve executar rapidamente o que as pessoas fazem rapidamente e executar lentamente o que as pessoas têm mais dificuldade de fazer. Também deve tender a cometer erros da mesma forma que as pessoas tendem cometê-los. Se o programa for colocado em situações experimentais, as quais os humanos estariam sujeitos, os resultados deveriam estar dentro de uma faixa da variabilidade humana.

A Filosofia Computacional objetiva formar um entendimento computacional do comportamento a nível inteligente humano sem estar restrito a algoritmos e estruturas de dados que os humanos realmente utilizam (ou deveriam usar). Pode-se dizer que o “entendimento computacional” é um modelo que expressa um procedimento que é, no mínimo, implementável (se realmente não for implementado) no computador. O “comportamento a nível inteligente humano” é o comportamento, que quando desenvolvido por uma pessoa, é parte de um comportamento cognitivo humano dito inteligente. É aceitável, naturalmente, que o modelo implementado possa desenvolver algumas tarefas melhor do que qualquer pessoa.

As fronteiras se sobrepõem quando se trata de saber como programar computadores, especialmente para desenvolver tarefas que, embora não se saiba como programá-las, as pessoas desenvolvem. Assim, tanto a Psicologia como a Filosofia Computacional são subáreas da Inteligência Artificial divididas de acordo com seus objetivos. A Inteligência Artificial é considerada como um campo da Ciência da Computação. Existem diversas disciplinas, externas à Ciência da Computação, que provocam fortes impactos na IA e vice-versa. A Psicologia Cognitiva é um campo da Psicologia que usa métodos experimentais para estudar o comportamento cognitivo humano. A Psicologia Computacional obviamente está fortemente relacionada

com a Psicologia Cognitiva, diferindo principalmente no uso de modelos computacionais ao invés de experimentos humanos. Todavia, os pesquisadores da IA estão atentos às pesquisas da Psicologia Cognitiva, assim como, a Psicologia Cognitiva observa os procedimentos cognitivos nas pesquisas em IA que possivelmente possam ser encontrados em seres humanos.

A Ciência Cognitiva é então um campo interdisciplinar que estuda o comportamento cognitivo humano sobre a hipótese de que a cognição é (ou pode ser modelada como) uma computação. A IA [23], [125], [149], [152], [156], [184] e Ciência Cognitiva [146], [154] se sobrepõem. Além disso, a Ciência Cognitiva possui pesquisadores da Psicologia Cognitiva, da Lingüística, da Filosofia, da Antropologia, Neurociências, entre outros.

3.2.2 Ciência Cognitiva

Definição 3.2.1 *Segundo Rapaport [146] “... A Ciência Cognitiva é o estudo interdisciplinar da cognição.” A cognição inclui os estados mentais e os processos como pensamento, raciocínio, memorização, geração e compreensão de linguagem, percepção visual, aprendizado, consciência, emoções, etc.*

Alguns cientistas cognitivos limitam seus estudos à cognição humana, embora a maioria considera a cognição independente de suas implementações em seres humanos ou computadores. Outros, estudam a cognição independentemente dos agentes cognitivos ambientais e outros a estudam dentro do contexto da sociedade ou cultura.

A Ciência Cognitiva ou Cognitivismo, estuda a mente em contraste com o Behaviorismo. O Behaviorismo estuda o comportamento humano em termos das correlações de estímulos - respostas, sem nenhuma menção aos estados mentais inobserváveis (incluindo construções mentais tais como símbolos, idéias, esquemas) ou processos mentais (tais como pensamento, planejamentos, etc.) que podem mediar estas correlações. Um behaviorista vê a mente como uma “caixa preta” que somente pode ser entendida em termos de comportamento entrada-saída. Os Cognitivistas buscam o entendimento da mente humana em termos dos estados e processos mentais, ou seja, em termos dos algoritmos que mediam a entrada e saída.

A Ciência Cognitiva teve suas origens em duas grandes linhas de pesquisa. A primeira foi o desenvolvimento da Lógica Simbólica até a sua aplicação por McCulloch e Pitts [114] em 1943 no comportamento das redes neurais. A segunda, deve-se a Turing em sua análise computacional (1936) e sobre a possibilidade de máquinas pensantes (1950) conhecido como o Teste de Turing [94]. De acordo com Rapaport [146] o Cognitivismo entra em cena em 1956 seguido de várias teorias [155]. Os

trabalhos de Simon e Newell [121], [122] originam o “Logic Theorist”, primeiro programa de IA [40], [112], [106]. Em 1979, surge o “Journal of Cognitive Science” e dois anos mais tarde ocorre o primeiro encontro anual da “Cognitive Science Society” [146].

3.2.3 Cognição e Computação

A noção que os estados e processos mentais intervêm nos estímulos-respostas às vezes são denominados de “metáfora computacional”. A mente está para o cérebro assim como o software está para o hardware; os estados e processos mentais são como programas de computadores implementados (no caso em humanos) em estados e processos cerebrais. Alguns cientistas, como Pylyshyn [142], [143] chegam a afirmar que: “a cognição é um tipo de computação”.

Assim, de acordo com a visão computacional da Ciência Cognitiva, tem-se que:

1. Existem estados e processos mentais intervindo entre os estímulos de entrada e a respostas da saída;
2. Estes estados e processos mentais são algoritmos (no sentido literal da palavra) ou são como algoritmos (no sentido metafórico);
3. Em contraste com o Behaviorismo, os estados e processos mentais são capazes de serem estudados cientificamente (mesmo que não sejam diretamente observados).

Neste sentido, uma questão filosófica é bastante discutida [142], [143], [69]. Se os estados e processos mentais podem ser expressos como algoritmos, eles são capazes de serem implementados em computadores não humanos. Estariam estes computadores executando tais algoritmos meramente estimulando estados e processos mentais ou estariam realmente pensando?

Alguns cognitivistas [69] discordam dessa denominada visão fortemente computacional da mente, a eles são oferecidas respostas para assegurar uma espécie de teste de consistência desta teoria. Ou seja, os cognitivistas favoráveis a esta visão oferecem respostas como “a visão computacional da mente é apenas um modelo de trabalho cujo comportamento pode ser comparado com o desempenho humano...”. Entretanto, a maioria concorda que o comportamento cognitivo humano pode ser simulado por um programa de computador e isto não é incoerente com esta teoria.

3.3 Paradigmas da Ciência Cognitiva

3.3.1 Ciência Cognitiva Computacional Simbólica

O Cognitivismo Simbólico Computacional é também denominado de “Physical Symbol System Hypothesis (PSSH)” ou “Representational Theory of the Mind (RTM)”. O PSSH, devido a Newell e Simon [121] [122] oferece a solução do problema de “como é possível para a mente existir em um universo físico”. A mente existiria fisicamente implementada como um “sistema simbólico”. Neste caso, um sistema simbólico é qualquer procedimento efetivamente computável. Ou seja, uma máquina universal (a qual pela tese de Church segundo Rapaport [146] poderia ser a máquina de Turing, uma função recursiva, um computador digital, etc.). Um sistema físico simbólico é a implementação física de tal sistema simbólico.

Definição 3.3.1 *De acordo com o PSSH [121]: Um sistema físico é capaz de exibir comportamento inteligente (onde a inteligência é definida em termos de inteligência humana) se e somente se este sistema é um sistema físico simbólico.*

Isto é uma hipótese empírica cujas evidências derivam-se dos trabalhos na IA simbólica. Newell [121] afirma que os *sistemas físicos inteligentes* são *sistemas físicos simbólicos* porque a inteligência requer *representações* de uma grande variedade de metas e estados e tais representações flexíveis necessitam de símbolos. Isto é, as representações devem ser simbólicas.

Nas linhas do PSSH e da RTM, quando um sistema físico (computador ou humano) executa um algoritmo “cognitivo”, as representações são trazidas “para a vida” como quem fala e se comporta de acordo com regras de um sistema simbólico, o sistema torna-se dinâmico ao contrário de ser estático. Se a cognição é baseada em representações e em regras (isto é, se o comportamento cognitivo consistir de transformações das representações de acordo com regras) então um computador que comporta-se de acordo com estas regras, aplicadas de maneira causal, para estas representações *está* se comportando cognitivamente e não meramente simulando o comportamento cognitivo. É claro que esta posição encontra seus opositores, dentre eles Winograd [183].

3.3.2 Ciência Cognitiva Computacional Conexionista

O conexionismo (ou rede neural, ou processamento paralelo distribuído) é uma abordagem tanto para a IA como para a Ciência Cognitiva Computacional como sendo uma maneira pela qual um sistema parece comportar-se inteligentemente mesmo sem ser um sistema simbólico.

A maioria dos métodos conexionistas contém representações mas estas estão distribuídas [54], [74], [78], [79] [99]. Ou seja, o conhecimento estaria distribuído nos pesos das conexões entre as unidades de processamento (neurônios). Assim, ao contrário de se ter uma inteligência “programada” no sistema através do uso de regras explícitas e representações, a inteligência “emerge” da organização dos nós e ligações entre os neurônios das redes neurais [74], [54]. [81], [28], [95], [99], [115].

3.4 Taxonomia do Aprendizado de Máquina

Carbonell [44] apresenta uma taxonomia na pesquisa sobre aprendizado de máquina conforme resumido na Figura 3.3. O aprendizado de máquina pode ser classificado segundo:

- A - as *estratégias de aprendizado* utilizadas. Os processos são organizados de acordo com o grau de inferência⁷ que o sistema desenvolve na informação disponível;
- B - a *representação do conhecimento* ou habilidade adquirida pelo aprendiz⁸;
- C - o domínio de aplicação.

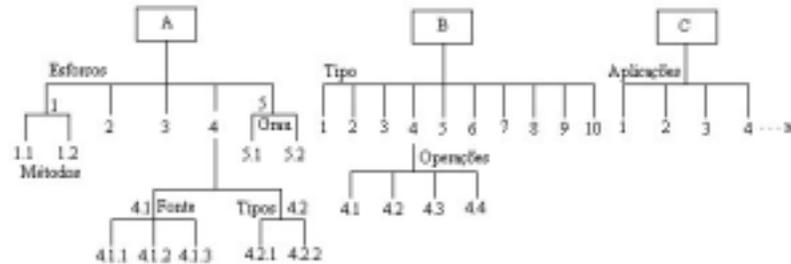


Figura 3.3: Taxonomia do Aprendizado segundo Carbonell [44]

⁷Kasabov [95] define a inferência como o processo de aquisição de novos fatos quando a interpretação do conhecimento existente é feita com dados correntes. O processo de inferência de novos fatos e sua manipulação é denominado raciocínio.

⁸O aprendiz é aqui referido como o sistema que aprende.

3.4.1 Estratégias de Aprendizado

A classificação baseada nas estratégias de aprendizado considera dois extremos relativos à quantidade de inferência que o aprendiz desenvolve na informação disponível: nenhuma inferência e o desenvolvimento de grande quantidade de inferência. Se um sistema computacional é programado diretamente, seu conhecimento aumenta mas não desenvolve nenhuma inferência, isto é, todos os esforços cognitivos são do programador. Reciprocamente, se um sistema, independentemente, descobre novas teorias ou inventa novos conceitos, ele desenvolverá uma substancial quantidade de inferência, derivando conceitos do conhecimento organizado de experimentos e observações.

Assim como a quantidade de inferência que o aprendiz é capaz de desenvolver aumenta, o esforço do professor ou do ambiente externo diminui. Por exemplo, é muito mais difícil ensinar uma pessoa pela explicação de cada passo de uma tarefa complexa do que mostrar a maneira de fazer tarefas similares que são usualmente desenvolvidas. É mais difícil ainda programar um computador para desenvolver uma tarefa complexa do que instruir uma pessoa para desenvolvê-la pois a programação requer a explicitação de todos detalhes necessários, enquanto que uma pessoa pode usar seu senso comum para obter certos detalhes.

Quanto a quantidade de esforços necessários pelo aprendiz e pelo professor⁹ tem-se a seguinte classificação:

1. Implantação direta do conhecimento ou “rote learning” - Nenhuma inferência ou outra transformação de conhecimento é necessária por parte do aprendiz. As variantes deste método de aquisição do conhecimento são:
 - 1.1 Aprendizado por ser programado, construído ou modificado por uma entidade externa, não necessitando nenhum esforço por parte do aprendiz (por exemplo, estilo usual de programação de computadores);
 - 1.2 Aprendizado por memorização de datas e fatos dados, sem nenhuma inferência obtida da informação (por exemplo, desenvolvida nos sistemas de base de dados primitivos). O termo “rote learning” (decorar) é usado primariamente neste contexto.
2. Aprendizado de instrução (ou, aprendizado por ser contado, narrado) - Aquisição do conhecimento é feita através de um professor ou de outra fonte organizada, tal como livro-texto, requerendo que o aprendiz transforme o conhecimento de uma linguagem de entrada a uma representação interna utilizável, e esta nova transformação é integrada com o conhecimento anterior para um uso

⁹O “professor” é aqui referido como sendo a supervisão do aprendizado, ou agente externo ao sistema. Maiores detalhes sobre o aprendizado supervisionado serão vistos na subseção 3.4.4.

efetivo. Portanto, o aprendiz desenvolve alguma inferência, mas uma grande fração do esforço permanece com o professor que deve apresentar e organizar o conhecimento de maneira incremental, de modo que o aprendiz aumente seu conhecimento existente. Portanto, uma das tarefas do aprendizado de máquina é construir um sistema que pode aceitar uma instrução, ou supervisão e pode armazenar e aplicar este conhecimento efetivamente.

3. Aprendizado por Analogia - Aquisição de novos fatos ou habilidades pela transformação e aumento do conhecimento existente que possui forte semelhança com o novo conhecimento desejado. Um exemplo, no aprendizado humano, seria um motorista acostumado a guiar automóveis, aprender a dirigir camionetas ou utilitários automotivos. No aprendizado de máquina, o computador deve extrair o modo de resolver o problema por analogia a problemas semelhantes. Por exemplo, um sistema de aprendizado por analogia pode ser aplicado para converter um programa de computador existente em outro que desenvolve uma função relacionada com o programa originalmente concebido. Um fato ou parâmetro relevante deve ser recuperado da memória, este conhecimento deve então ser transformado, aplicado a uma nova situação e armazenado para uso futuro. O aprendizado por analogia requer mais inferência por parte do aprendiz do que o aprendizado por instrução e por decorar.
4. Aprendizado por exemplos - Dado um conjunto de exemplos e “contra exemplos” (ou exemplos negativos) de um conceito, o aprendiz induz descrição de um conceito geral que descreve todos os exemplos positivos e nenhum dos “contra exemplos”. A quantia de inferência desenvolvida pelo aprendiz é muito maior do que o aprendizado por instrução (não existem conceitos gerais oferecidos pelo professor) e em algumas vezes muito maior do que no aprendizado por analogia (quando não existem conceitos similares com os quais os novos conceitos possam ser construídos). O aprendizado por exemplos foi dividido por Carbonell [44] em categorias de acordo com a *fonte* e *tipo* dos exemplos:

4.1 - Quanto a fonte dos exemplos:

4.1.1 - A fonte é um *professor* que conhece o conceito e gera seqüências de exemplos mais significativos quanto for possível. Se o professor também conhece (ou infere) o estado do conhecimento do aprendiz, os exemplos podem ser selecionados para otimizar a convergência do conceito desejado.

4.1.2 - A fonte é o *próprio aprendiz*. O aprendiz conhece seu próprio estado de conhecimento mas não sabe exatamente o conceito a ser adquirido.

Portanto, o aprendiz pode gerar exemplos (existindo uma entidade externa tal como, ambiente ou professor, que classificará estes exemplos como positivos ou negativos) baseados na informação que ele acredita ser necessária para discriminá-los das descrições contendo tais conceitos.

4.1.3 - A fonte é o *ambiente externo*. Neste caso, a geração de exemplos é um operacionalmente um processo aleatório e o aprendiz conta com observações relativamente não controladas.

4.2 - Quanto ao tipo de exemplos

4.2.1 - Disponibilidade somente de exemplos positivos; Exemplos positivos oferecem modelos para a aquisição de novos conceitos mas não previnem uma generalização¹⁰ excessiva dos conceitos adquiridos. Esta generalização excessiva pode ser evitada considerando um conjunto mínimo de generalizações necessárias ou pela restrição, *a priori* no domínio do conhecimento, o conceito a ser inferido [44].

4.2.2 - Disponibilidade de exemplos positivos e negativos. Enquanto os exemplos positivos forçam uma generalização, os exemplos negativos previnem a generalização excessiva.

5. Aprendizado por observação e descoberta¹¹. É uma forma de aprendizado que não possui um professor externo, isto requer um esforço de desenvolvimento de inferência muito maior pelo aprendiz do que qualquer outra forma de aprendizado. Não existem conjuntos de exemplos de um conceito particular, os exemplos não podem ser classificados como positivos ou negativos. Assim uma ênfase é dada quanto ao grau de interação com o ambiente externo:

5.1 - *Observação Passiva* - onde o aprendiz classifica as observações de múltiplos aspectos do ambiente;

5.2 - *Experimentação Ativa* - onde o aprendiz perturba o ambiente e observa os resultados de suas perturbações. A experimentação pode ser aleatória, dinamicamente focalizada de acordo com um critério geral de interesse

¹⁰A palavra generalização refere-se geralmente a extensão de um princípio ou de um conceito a todos os casos a que se pode aplicar. É o processo pelo qual se reconhecem características comuns a vários objetos singulares, daí resultando quer a formação de um novo conceito ou idéia, quer o aumento da extensão de um conceito já determinado que passa a cobrir uma nova classe de exemplos.

¹¹Também denominado como aprendizado não supervisionado conforme é mostrado em outra classificação na subseção 3.4.4

ou guiado por restrições teóricas. O sistema adquire conhecimento e faz hipóteses teóricas para confirmar ou não estas teorias, portanto explora seu ambiente aplicando diferentes estratégias de observação e experimentação que necessita. Esta forma de aprendizado envolve a geração de exemplos para testar suposições ou conceitos parcialmente adquiridos.

Num sistema de descoberta, para que se associe aprendizado ao mesmo necessita-se de memorização e um esquema de indexação. No computador (por exemplo, na descoberta de um teorema) não é necessário um programa de aprendizado em separado, pois a prova do teorema pode ser obtida e transportada para o papel. Entretanto, esta prova pode ser armazenada pelo computador para ser usada num trabalho subsequente. Um dos primeiros programas de aprendizado para computadores foi o “Logic Theorist” de Newel e Simon [121]. Um dos problemas encontrados neste programa é que memorizava somente o teorema e não sua prova pois seu ponto de partida era somente os axiomas. Segundo Simon [160] se fosse dado ao programa também a capacidade de “aprender decorando” (aprendizado somente por memorização) ele poderia usar novos teoremas ao longo dos axiomas encontrados e memorizar a prova.

Um sistema de aprendizado pode adquirir regras de comportamento, descrição de objetos físicos, heurísticas na resolução de problemas, taxonomias de classificação em espaço amostrais e muitos outros tipos de conhecimento úteis no desenvolvimento de uma ampla faixa de tarefas.

3.4.2 Representação do conhecimento

A classificação quanto à representação do conhecimento, ou quanto o tipo de conhecimento adquirido foi dividida por Carbonell [44] como:

1. *Ajuste de Parâmetros em Expressões Algébricas* - O aprendizado neste contexto consiste do ajuste numérico de parâmetros ou coeficientes em expressões algébricas de uma forma funcional fixa de modo a obter um desempenho desejado. Um exemplo é encontrado no Perceptron [150], [117] e [118] onde é feito ajuste dos coeficientes dos pesos para reconhecimento de padrões bidimensionais ¹²
2. *Árvores de decisão* - Alguns sistemas adquirem árvores de decisão para discriminar classes de objetos. Os nós de uma árvore de decisão correspondem a atributos dos objetos selecionados e as extremidades correspondem a valores

¹²Uma crítica a este modelo é encontrada em [117] [118], o que causou uma histórica polêmica nas pesquisas em IA. Maiores detalhes podem ser encontrados em [29].

alternativos pré-determinados para estes atributos. As folhas das árvores correspondem aos conjuntos de objetos com uma classificação idêntica. Exemplos são encontrados em sistemas especialistas para auxílio a decisão.

3. *Gramáticas Formais* - No aprendizado do reconhecimento de linguagens¹³, as gramáticas formais são induzidas de seqüências de expressões de uma linguagem. Estas gramáticas são geralmente representadas por expressões regulares, regras de gramáticas livres do contexto ou regras de derivação.
4. *Regras de Produção* - As regras de produção são amplamente utilizadas na representação do conhecimento pela simplicidade e interpretação. Uma regra de produção é o par condição-ação $\{C \Rightarrow A\}$. Se todas as condições da regra são satisfeitas então a seqüência de ações é executada. As quatro operações básicas nas quais as regras são adquiridas e refinadas são:
 - 4.1 - *Criação* - uma nova regra é construída pelo sistema ou adquirida de uma entidade externa;
 - 4.2 - *Generalização* - Diminuição das condições, que tornam-se menos restritivas facilitando a aplicação em grande número de situações;
 - 4.3 - *Especialização* - Condições adicionais são adicionadas ao conjunto de condições ou são feitas restrições nas condições existentes para aplicação em situações específicas;
 - 4.4 - *Composição de regras*- Duas ou mais regras podem ser aplicadas em seqüência para compor outra regra facilitando a eliminação de redundâncias de condições e ações.
5. *Expressões da Lógica Formal e Formalismos relacionados* - As expressões da lógica formal são utilizadas para formular descrições de objetos individuais (entrada para o sistema de aprendizado) e para formular os conceitos resultantes (saída do sistema). Os componentes são preposições, predicados, variáveis valoradas, etc.
6. *Grafos e Redes Semânticas* - Em muitos domínios os grafos (conceituais e semânticos) oferecem uma representação mais conveniente do que as expressões lógicas. Algumas técnicas de aprendizado exploram a transformação de grafos e esquemas para comparar e indexar o conhecimento eficientemente.

¹³Linguagens formais, geralmente artificiais. As Linguagens formais são definidas através de Gramáticas Formais.

7. *Molduras e Roteiros* - Oferecem unidades de representação do conhecimento mais simples do que expressões lógicas e regras de produção. As molduras são coleções de entidades rotuladas - campos (“slots”), cada qual contendo uma certa descrição na representação. Por exemplo, no aprendizado por experiência, o sucesso passado, as alternativas não testadas, as causas de falhas entre outras informações podem ser registradas e comparadas na indução e refinamento de várias regras de comportamento. Os esquemas oferecem o formalismo adequado. Um roteiro é uma estrutura de dados que descreve de modo estereotipado uma seqüência de acontecimentos num contexto particular. Assim, como numa moldura o roteiro contém campos, aos quais podem ser associados valores por ignorância (“default”) [29].
8. *Codificação de procedimentos em programas* - O objetivo de muitos sistemas de aprendizado é adquirir a habilidade de transportar um processo específico eficientemente, ao contrário de raciocinar sobre uma estrutura interna deste processo. Uma codificação de procedimentos podem incluir habilidades motoras, seqüência de instruções e outras características humanas “compiladas” por exemplo, para manipulação de robôs.
9. *Taxonomias* - O aprendizado por observação pode resultar da estruturação global do domínio dos objetos em uma hierarquia ou taxonomia. O agrupamento (“clustering”) das descrições em novas categorias e a formação de uma classificação hierárquica necessitam de um critério de relevância dos objetos para sua classificação.
10. *Representações Múltiplas* - Alguns sistemas de aquisição do conhecimento utilizam diversos esquemas de representações para o novo conhecimento adquirido. É necessário assim uma combinação apropriada aplicáveis às diferentes formas do conhecimento a ser adquirido.

3.4.3 Domínio de aplicação

A classificação do domínio de aplicação envolvem diversas áreas tais como Agricultura, Química, Jogos, Reconhecimento de Imagens e Voz, Matemática, Diagnose Médica, Música, Física, Processamento de Linguagens Naturais, Planejamento e Resolução de Problemas, entre tantas outras . Entretanto, são discriminadas aqui as de interesse neste estudo:

1. *Modelagem Cognitiva* - O aprendizado de máquina é amplamente aplicado na Modelagem dos Processos Cognitivos com a sobreposição das diversas áreas: Filosofia Computacional, Ciências Cognitivas, Inteligência Artificial, etc.

2. *Programação de Computadores* - O aprendizado de máquina é utilizado no aumento da eficiência no desenvolvimento e na melhoria da qualidade de programas;
3. *Educação* - Na Educação, o desenvolvimento de sistemas de Ensino Inteligente tem encontrado aplicações de modo a aumentar a eficiência do processo Ensino-aprendizagem auxiliado por Computador;
4. *Sistemas Especialistas* - Especificamente, os sistemas de especialistas dedicados ao Ensino é área de interesse desta pesquisa;
5. *Métodos Gerais* - domínio não específico...

Ampliando a classificação de Carbonell [44] pode-se classificar o aprendizado sob as mais diversas formas. Nas próximas seções serão dadas classificações quanto a retroação do mundo (encontrada em [29], quanto a finalidade do aprendizado, quanto a interação com o meio. Esta taxonomia poderá ser aumentada no trabalho final, com inclusão de exemplos numa classificação quanto aos mecanismos de raciocínio (indutivo e dedutivo).

3.4.4 Classificação segundo a retroação do mundo

Um modo de classificação do aprendizado adotado por Barreto [29] é pela presença ou ausência de realimentação explícita do mundo exterior. Uma realimentação explícita significa que em certos intervalos de tempo um professor assinala erros e acertos. A ausência do professor é o caso no qual a realimentação não é explícita.

Aprendizado Supervisionado:

No aprendizado supervisionado, o sistema é treinado com o auxílio de um professor, ou um treinador. Neste caso, o professor indica explicitamente um comportamento bom ou ruim [29]. Um exemplo é o aprendizado supervisionado das redes neurais. Para tanto, o sistema deverá possuir pares de entrada e saída, ou seja, um conjunto de entradas e um conjunto com as saídas desejadas para cada entrada. Toda vez que for apresentada à rede uma entrada, deverá ser verificado a saída obtida (gerada a partir de cálculos efetuados com os pesos que a rede possui) confere com a saída desejada para aquela entrada. Sendo diferente, a rede deverá ajustar os pesos de forma que armazene o conhecimento desejado. Essa iteratividade do treino deverá ser repetida com todo conjunto de treinamento (entradas e saídas), até que a taxa de acerto esteja dentro de uma faixa considerada satisfatória.

Aprendizado Não Supervisionado:

Este tipo de aprendizado também é conhecido como aprendizado de auto organização. Esse aprendizado não requer saídas desejadas, e por isso é conhecido pelo fato de não precisar usar “professores” para seu treinamento. No caso de uma rede neural, para o treinamento da rede, são usados apenas os valores de entrada. A rede trabalha essas entradas e se organiza de modo que acabe classificando-as usando, para isso, seus próprios critérios. Esse tipo de rede utiliza os neurônios como classificadores, e os dados de entrada, como elementos para classificação. O processo de classificação fica por conta da rede neural e o seu algoritmo de aprendizado. A auto-organização demonstrada nas redes neurais não-supervisionadas, envolve, o processo de competição e o processo de cooperação entre neurônios da rede. Muitos pesquisadores têm utilizado esse tipo de rede como detector de características, dada a sua capacidade de aprender a discriminar estímulos ocorrendo em partes especialmente diferentes [29].

3.4.5 Classificação quanto a finalidade do aprendizado

- *Auto-associador* - uma coleção de exemplos é apresentado ao sistema, a qual é suposto memorizar os exemplos. Depois, quando um destes exemplos for novamente apresentado de modo deteriorado supõe-se que o sistema restitua o original sem deterioração.
- *Hetero-associador* - é uma variante do auto-associador que memoriza um conjunto de pares. O sistema aprende a reproduzir o segundo elemento do par mesmo que o primeiro seja apresentado contendo pequenas alterações. Este hetero-associador é também conhecido como reconhecedor de padrões, onde o primeiro elemento apresentado é o elemento a ser reconhecido e o segundo é um elemento do conjunto de padrões considerado [25].

3.4.6 Classificação quanto a interação com o meio

Como pode ser notado as classificações de aprendizado se sobrepõem. Uma classificação interessante pode ser feita de acordo com a interação do indivíduo com o seu meio.

- Aprendizado com realimentação do meio: O aprendiz interage com o meio e recebe informações do meio.
- Aprendizado sem realimentação do meio: Neste caso, o aprendiz só recebe informação do meio.

Esta classificação é particularmente útil nos processos de Ensino-aprendizagem onde existem além de contextos¹⁴, as interações dos indivíduos com o meio exterior (o professor). É uma forma de aprendizado supervisionado (realimentação do meio). Esta classificação é interessante porque pode-se analisar as projeções.

3.4.7 Classificação quanto ao tipo de conhecimento adquirido

O conhecimento pode ser dividido em três tipos: conhecimento fatural, conhecimento dedutivo e conhecimento hábil (ou habilidade) [27]. O conhecimento fatural compreende os conhecimentos atômicos sobre um determinado assunto. Por exemplo, em geografia descritiva, o conhecimento fatural inclui o conjunto de dados sobre países, sobre relevo, etc. No estudo de línguas, o conhecimento do vocabulário pode ser considerado fatural. O conhecimento dedutivo é o conhecimento que se deve dispor em um determinado assunto para manipular conhecimentos fatuais. Assim é possível, usando conhecimentos dedutivos, a partir de um conjunto de conhecimentos fatuais deduzir outros conhecimentos fatuais. Pode-se ainda dizer que o conhecimento dedutivo permite, usando conhecimentos fatuais explícitos, explicitar conhecimentos que estavam sobre a forma implícita. No caso da densidade de população seria saber que: “para saber a densidade de população de um país divide sua população por sua superfície”. No caso de uma língua estrangeira (inglês) uma tal regra seria: “para responder negativamente a uma frase que comece por “do you” basta dizer “No, I don’t”. Ainda no caso de línguas, o conhecimento de regras de gramática que permitem a partir do conhecimento explícito do vocabulário formar uma frase, pode ser considerado conhecimento dedutivo. Habilidade é o “meta-conhecimento” (conhecimento de como usar o conhecimento) sobre o uso do conhecimento dedutivo. No caso de uma língua seria o conhecimento hábil de escrever bem. Uma boa leitura sobre Conhecimento pode ser encontrada em Barreto [27], [29].

Em relação ao Conhecimento, encontra-se ainda conceitos de *Conhecimento Superficial* e *Conhecimento Profundo*, ambos oriundos de trabalhos com utilizando conceitos da Física qualitativa [147], [153], [51], [100], [101], [72]. O conhecimento superficial é quando o conhecimento é fatural, sendo ignorada a teoria [98], [97] que o suporta. Assim, dizer “um avião pode voar” encerra somente conhecimento superficial pois os mecanismos que possibilitam o voo não estão presentes. Costuma-se representar o conhecimento superficial por meio de fatos e regras de manipulação destes fatos [41]. Em contrapartida, o conhecimento profundo se apoia em uma teoria bem estabelecida a qual permite um raciocínio causal [89], [90], [24], [92]. Por exemplo, “força é igual ao produto da massa pela aceleração” contém um conheci-

¹⁴Esta questão é abordada no capítulo 2

mento profundo. O conhecimento profundo é representado por modelos analíticos [107], [32].

3.5 Aprendizado: faceta importante da Inteligência

O aprendizado é fundamental para a sobrevivência de qualquer espécie e tem características que podem ser medidas quanto a sua extensão (sua generalidade e sua profundidade). Estudos recentes [70], [71], [87], [29] têm procurado mostrar que a complexidade do processo de aprendizado não é acidental mas é um produto adaptativo da evolução. A Inteligência Evolutiva individual é relativa ao indivíduo e a inteligência coletiva está relacionada com a espécie. No aprendizado de máquina a inteligência coletiva é a Inteligência Artificial Distribuída.

3.5.1 O Especialista e o Generalista

Um ensinamento profundo é aquele que se proclama, hoje em dia, dizendo que precisamos formar grandes especialistas, no qual o indivíduo escolhe os assuntos para sua mente e procura a aprender “tudo” sobre aquele assunto. Realmente, tendo em vista a grande quantidade de coisas descobertas e o tempo limitado da vida humana este é um modo de se obter uma grande quantidade de conhecimento sobre um determinado assunto e juntá-los a outros já conhecidos. Este é o caso do Aprendizado do *Especialista*. Outro tipo de aprendizado é o do *Generalista* (ou adaptável), que é capaz de aprender a sobreviver em ambientes diversos. Estas são as duas correntes básicas do *Aprendizado Evolutivo*. Uma pergunta se faz, qual dos dois (especialista ou generalista) é mais inteligente?

A esta pergunta não se tem resposta pois são duas inteligências diferentes que não podem ser medidas por um fator único. A Evolução do aprendizado vai de acordo com um ambiente extremamente fechado e invasável (favorendo o especialista) ou mutável que favorece o Generalista. Quando um ser aprende e ganha na competição com seus semelhantes pela especialização do seu conhecimento torna-se um mal especialista se o ambiente muda, a tendência é a sua morte. Na natureza encontram-se vários exemplos de seres especialistas (como o urso Panda) e generalistas (baratas, ratos, etc.). Um exemplo de aprendizado evolutivo é o aprendizado da barata que é capaz de sobreviver nos ambientes mais inóspitos, desenvolvendo até mesmo uma circulação sangüínea (o denominado “sangue de barata”) adaptada. Na verdade, a barata não tem alta performance em nada mas a evolução lhe ensinou a resolver problemas de sobrevivência em ambientes adversos. O generalista, em face das mudanças ambientais consegue modificar seus parâmetros. Considerando-se o

cérebro humano como uma coleção muito grande de programas acumulados ao longo da vida, pode-se dizer que estes “programas cerebrais”, são modificados e repetidos pelo processo de aprendizado evolutivo que não necessita de representações internas do conhecimento. Supondo-se que fosse possível abrir e programar o cérebro diretamente, de forma a escrever, depurar e modificar os programas cerebrais seria possível então aprender uma série de coisas sobre o código interno, as representações internas do conhecimento e as habilidades desenvolvidas. Talvez uma pessoa saiba como o seu conhecimento está organizado em seu cérebro mas não sabe como este conhecimento está organizado no cérebro de uma outra pessoa. Também não é possível um “compartilhamento dos programas cerebrais” o que se fosse possível, poderia diminuir a lentidão do aprendizado animal. Outra característica importante do aprendizado animal é que nenhum professor ou aprendiz tem uma representação interna detalhada dos dados ou procedimentos. Um exemplo de aprendizado evolutivo com aplicação em redes neurais (modificação da topologia e dos valores das conexões sinápticas de modo a fazer uma rede tornar-se apta a resolver um problema) pode ser encontrado em [29].

3.5.2 O problema da medida métrica da inteligência

A inteligência não pode ser medida com testes do tipo “Quociente de Inteligência” (QI). O QI é medido através de uma técnica de comparação de dados espaciais de populações sobre as mesmas condições (por exemplo, crianças calmas da mesma idade) não podendo ser aplicado para todos porque, além disso, não considera condições emocionais¹⁵ (emoções, estresse, diferenças de idade). Mesmo a idéia do QI emocional (determinadas emoções influenciam o raciocínio dedutivo), não considera um conjunto de outras coisas que influenciam o desempenho do comportamento animal.

O fato é que a inteligência não pode ser medida por um número porque não é uma entidade no espaço métrico. O espaço métrico é aquele que pode ser medido, ou seja existe o conceito de distância. Um exemplo de espaço que não é métrico pode ser encontrado na Física (Mecânica dos Gases), onde tem-se os eixos de Pressão, Volume, Temperatura no espaço P,V,T e não tem sentido de falar de distância entre dois pontos.

As coisas mais elementares da vida não são métricas, o ser humano é que têm uma tendência a “metrimentrizar” tudo, reduzindo as coisas a números. Na inteligência não pode ser reduzida a um número por mais tentativas que se tenha feito. Alguns pesquisadores falam até em medidas de inteligência de máquinas. Também

¹⁵Inteligência Emocional.

no aprendizado de máquina pode se ter conceitos, idéias, aproximações, comparações mas sempre que estiver falando de inteligência deve-se dizer sobre qual critério, qual o contexto.

Isto leva também ao conceito de “emergência da inteligência”. Sabe-se que para se ter um comportamento emergente este deve ter um observador (ou seja, deve ser observável) de acordo com uma escala diferente daquela da existência do fenômeno. Por exemplo, a cor marrom de determinado objeto visto por alguém é o comportamento emergente dos elétrons que compõem o objeto. A queda de vários níveis dos níveis enérgicos orbitais dos elétrons é que produz a cor marrom vista pelo observador, ou seja comportamento emergente da cor marrom. Se não existe observador não existe comportamento emergente, este comportamento emergente é em relação aquele observador. O que emerge para um observador difere do emerge para outro, assim é necessário que o observador seja fixo. Um exemplo de emergência no aprendizado de máquina são o caso das redes neurais. Elas podem ter o comportamento emergência da inteligência para responder como um sistema especialista, como uma retina artificial, etc. No caso dos seres humanos, pode-se ter, por exemplo, uma pessoa explicando algo (matemática, um fato, etc.) a outra pessoa (que é o observador), isto é o comportamento emergente dos neurônios da primeira pessoa. O comportamento emergente é então algo que produz uma sensação cognitiva num observador não existindo então comportamento emergente sem haver cognição. Isto conduz a uma definição neurológica do que é cognição: é o comportamento emergente de um conjunto de neurônios.

3.5.3 A Inteligência Humana é uma Função Computável?

O aprendizado é a base da inteligência. Uma pergunta se faz: a inteligência humana é uma função computável ?

Como a finalidade de mostrar a potencialidade dos métodos formais vamos tentar responder a esta pergunta formalmente.

Definição 3.5.1 *Uma função é dita **computável** (ou **decidível**) se é possível calcular seu valor para todos os elementos de seu domínio de definição. No caso contrário, ela é dita **não computável**.*

Assim, supondo uma relação binária, uma função é computável (ou decidível) se para qualquer valor de seus argumentos pode-se saber se o valor desta função é verdade ou falso. Ela será não computável (no caso, indecidível) se existem valores no seu domínio para os quais não se pode saber a priori, se ela é ou não computável¹⁶.

¹⁶Mais detalhes sobre computabilidade de funções podem ser obtidos em Barreto [29], [30]

Assim, para se saber se a inteligência humana é uma função computável tem que ser verificado dois pontos:

1. Se a inteligência humana pode ser modelada por uma função;
2. Se essa função pode ser provada como sendo computável.

O primeiro ponto, para se considerar a inteligência humana como uma função define-se a inteligência humana:

Definição 3.5.2 *A inteligência é a capacidade de resolver problemas.*

Se for aceita esta definição para inteligência determinando o que se chama de inteligência como a capacidade de resolver problemas F_i , tem-se que o domínio desta função é o conjunto de problemas e seu contradomínio é a solução destes problemas.

Definição 3.5.3 *Um problema é a terna obtida do conjunto de dados, conjunto de soluções e uma condição q que caracteriza a solução.*

$$P = \{D, S, q\}$$

Isto significa que a função inteligência F_i a ser definida, tem por domínio um conjunto de ternas e por contra-domínio a solução do problema, ou seja a condição q deste conjunto de ternas. O problema da computabilidade de F_i reduz-se então em saber se: dado um conjunto de problemas é sempre possível identificar a condição através desta função inteligência. Então, desta definição, diz-se que a inteligência é uma função F_i com a condição q a descobrir.

Em suma:

- F_i função inteligência definida como a capacidade de resolver problemas;
- D conjunto de dados do problema;
- S conjunto de soluções do problema;
- q uma relação binária, $q \subset D \times S$, condição que caracteriza a resolução do problema.

Passando a segunda parte, que é saber se é sempre possível definir esta função. Deve-se verificar como é apresentado o problema pois o conjunto de problemas (domínio) pode ser apresentado de vários modos, por exemplo, por enumeração exaustiva, declarativamente, por procedimentos e por exemplos.

Teorema 3.5.1 *Se o domínio da função inteligência F_i for definido em cima de um conjunto finito, a função é computável.*

A inteligência humana pode ser uma função computável quando o conjunto de tarefas para resolução do problema for finito (ou seja, o domínio for definido em um conjunto finito), pois será possível experimentar todas as tarefas e verificar se cada uma delas resolve ou não o problema. Em outras palavras, supondo que o número de coisas a aprender é finito pode-se então aprender todas as coisas. No caso de ter um conjunto finito, tem-se a enumeração finita dos elementos e achar o elemento no contra-domínio é apenas examinar neste conjunto finito qual é o elemento condição. Neste caso, é possível computar o valor da função (binário) com respostas de sim (verdade) ou não (falso) à pergunta: resolve ou não a tarefa? Dizer que a função é computável não significa que ela seja capaz de resolver todas as tarefas finitas e sim que ela resolve ou não resolve.

Teorema 3.5.2 *Se o domínio da função inteligência F_i for definido por determinado através de exemplos a função não poderá ser determinada pois existirá mais de função satisfazendo estes exemplos, portanto a função é não computável.*

Neste caso, o problema não é completamente definido para todos os valores de seus dados. Se conjunto de problemas for infinito (definido por exemplos ou por procedimentos declarativos) a inteligência humana só poderá ser aproximada com o grau de precisão desejada de acordo com o número de exemplos que se dispõe. Neste caso, a solução não é única: todas as funções que sejam iguais dentro da região em que o problema é definido são válidas.

Teorema 3.5.3 *Quando a função inteligência for definida por procedimentos. Existirão procedimentos que levaram a solução do problema e existirão procedimentos que não garantem a solução do problema. Assim é uma função inteligência é não computável.*

Neste caso, o problema da computabilidade [57], [30] da função inteligência se reduz ao problema da parada. Sempre haverá dados para os quais não se sabe se conduziram a uma solução algorítmica do problema. Assim, quando o problema for definido através de procedimentos (procedimento que gere a condição a partir de dados e resultados), existe o problema da parada. Se o problema for definido de maneira declarativa deverá existir um transformador de declarativo para procedimentos de operações, que por definição é não computável. No caso da função inteligência se o problema for definido por procedimento não existe critério para saber se ele pára ou não pára, ou seja não sabe se é computável. Diante disso, tem-se a resposta a pergunta:

A inteligência humana não é uma função computável!

Isto leva ao fato de que não se pode querer imitar a inteligência animal. O que se pode fazer no máximo são aproximações de coisas inteligentes. Assim, tem que se contar com a própria inteligência humana para que a mesma cresça sozinha, ou seja realimentando-se, por limitações que existem na própria natureza...

Para o trabalho final pretende-se que este capítulo amplie estas abordagens e contenha mais exemplos do aprendizado animal e de máquinas nos quais serão incluídos exemplos dos paradigmas simbólicos, conexionistas, evolutivos e híbridos.

Capítulo 4

Máquinas para Ensinar...

“I propose to consider the question:

‘Can machines think?’

This should begin with definitions of the meaning of the terms ‘machine’ and ‘think’.

Alan Turing, Computing Machinery and Intelligence, 1950.”

Quando as pessoas começaram a utilizar máquinas para Ensinar? Quais foram as precursoras do computador no Ensino? Quais as relações entre as estratégias utilizadas no passado e as atuais? Este capítulo visa mostrar um breve histórico das máquinas utilizadas para Ensinar e discutir as possibilidades do computador no processo de Ensino-aprendizagem.

O computador talvez seja a ferramenta mais interessante que o ser humano já construiu para contribuir na ampliação de suas capacidades intelectuais e cuja vocação é o armazenamento e manipulação de informação. Não é de estranhar portanto, que desde os primeiros dias dos computadores, tenha aparecido um grande interesse no uso dessas máquinas no Ensino. Inicialmente, muitos acreditavam que a utilização do computador faria uma revolução total do processo de Ensino. Isto leva à seguinte reflexão:

- Houve, estará havendo, haverá tal revolução ?
- Haverá assuntos mais adaptados ao Ensino usando computadores?
- De que modo melhor usar o computador?

Grande parte das observações contrárias à utilização de modernas tecnologias na Educação não são devidas a tecnologia em si, mas pelo uso que se faz dela. Num

contexto geral, é preciso desmitificar o computador nas Escolas, é preciso mostrar aos professores como utilizá-lo e saber como ampliar as suas capacidades. É preciso mais, é preciso valorizar o homem à máquina. Torna-se necessário aplicar métodos de Ensino que valorizem a construção de conhecimentos de ambos, do educador e do educando. Através destes preceitos pode-se distribuir, num sentido amplo e social, os conhecimentos.

4.1 Máquinas de Ensinar: do aprendizado individualizado ao computador

O interesse nestes tipos de máquinas remonta da Revolução Industrial que se estende ao princípio do século XX com um volumoso êxodo de camponeses para as cidades em busca de novas perspectivas de vida. Estes trabalhadores teriam então, que receber uma formação rápida. Entretanto, haveria uma escassez de professores capazes de os formar provocando assim vários empreendimentos para automatização do ensino. Precisava-se de teorias de ensino para sustentar tais idéias, que seriam providas pelas teorias da psicologia.

Segundo Bordeleau [36], a primeira patente conhecida de uma máquina de ensinar foi feita pelo americano H. Chard em 1809, denominada “Mode of Teaching Reading” para ensino de leitura.

4.1.1 Aprendizado Individualizado: Máquina de Pressey

Em 1913, nascia o aprendizado individualizado seqüencial. Conforme visto, Thorndike do Columbia University Teachers College, propôs a individualização da instrução e inventou a noção do prévio: um estudante não deve passar a lição sem que tenha feito os exercícios e aprendido a lição precedente. É a abordagem seqüencial: o estudante não deve ir para a página seguinte do livro se ele não teve sucesso nos exercícios da página prévia. Assim, em 1924 surge a primeira máquina de ensino seqüencial, o Tutor Drum. Esta máquina idealizada por Pressey, professor de Psicologia da Educação na Universidade do Estado de Ohio era dirigida a um grande grupo de estudantes como um sistema automatizado de questões. Apresentou a máquina na Conferência Anual da American Psychological Association apoiando-se nos princípios educacionais de Thorndike: o aluno não poderia ir para a instrução seguinte sem que tivesse sucesso prévio pois a máquina continha um teclado com quatro chaves para busca de respostas (para escolhas múltiplas) e uma janela onde eram colocadas as questões prevenia que o aluno seguisse sem sucesso. Assim, o

aluno recebia a realimentação imediatamente. Em 1932, Pressey, publica um artigo na *School, Magazine Society*, preconizando que aconteceria uma revolução real na educação.

4.1.2 Máquinas de Ensino: Fonógrafo e Televisão

Em 1909, foi utilizado numa escola pública americana (Milwaukee, EUA), o primeiro fonógrafo como recurso pedagógico. Dois anos depois, a companhia de discos RCA Victor lançou o primeiro disco gravado para o Ensino. Em seguida, 1912, vai ao ar a primeira estação de rádio educativa dos Estados Unidos, como uma iniciativa da Universidade do Estado de Ohio, que começou a distribuir cursos para seus estudantes. A Universidade de Wisconsin e a Universidade do Estado de Iowa repetiram o feito em 1916 e 1919, respectivamente. Mas a concessão de licença, para funcionamento de uma estação de rádio educativa, foi para Universidade da Cidade de Salt Lake, em Utah, no ano de 1921 Lachance apud Bordeleau [37].

Em janeiro de 1933 tem-se o início da primeira televisão educativa [53]. A University of Iowa difunde através da estação W9XK o primeiro programa de televisão que apresenta uma breve conferência da universidade sobre ela mesma, com um solo de violino, uma lição de desenho à mão livre e um excerto de uma peça teatral. Desse feito foram observadas as múltiplas possibilidades desta técnica audiovisual no Ensino. Assim, em 1952, a Comissão Federal Americana de Comunicação alocou à televisão uma cadeia de 242 canais educacionais [37].

4.2 Ensino Programado: precursor do ensino assistido por computador

Em 1954, Skinner [162], introduz o Behaviorismo (influenciado pelos trabalhos de Pavlov no condicionamento de animais e nas idéias de Thorndike no treinamento) na educação. A proposição educativa de Skinner é a reação à corrente pedagógica de transmissão magistral do conhecimento, predominante nas escolas americanas da época, que segundo ele deixava de colocar os reforços positivos para a aprendizagem. Ele pretendia que qualquer aluno pudesse aprender elementos do conhecimento com ajuda da técnica que denominou aprendizado programado. Pela análise do conhecimento de elementos mais simples ele poderia usar unidades (ou frames) e colocá-lo acessíveis ao aluno que os assimilaria no seu próprio ritmo, em um processo de perguntas e respostas seguidas de reforços.

4.2.1 Skinner e as Máquinas de Ensino

Skinner [163] em 1958, imaginou uma máquina de ensinar capaz de conter os ensinamentos programados e entrega-los em pequenas porções de conhecimento de acordo com a progressão das respostas boas dos estudantes. Ele inicia o aperfeiçoamento da máquina de Pressey com a introduzindo o conceito de *programação linear*: os conhecimentos são apresentados sucessivamente e os alunos não passam à unidade (“frame”) seguinte sem que respondam corretamente a questão (estímulo) que lhe é apresentada. Suas pesquisas foram financiadas por militares e indústrias que necessitavam de formação de mão de obra rapidamente. As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram algumas dessas máquinas que foram produzidas na época.



Figura 4.1: Discoverer: programas lineares. Fonte: [37]

Skinner [163], descreveu a operação de uma máquina de ensino como:

“... A frame of textual material appearing in the square opening is incomplete: in place of certain letters or figures there are holes. Letters or figures can be made to appear in these holes by moving slides (a keyboard would be an obvious improvement). When the material has been completed, the student checks his response by turning a crank. The machine senses the settings of the sliders and, if they are correct, moves a new frame of material into place, the sliders returning to their home position...”

Ele acentua mais o programa instrucional do que a máquina de ensinar mas logo percebe que sua abordagem educacional não poderia ser aplicada eficientemente numa sala de aula, havia uma falha particular que ainda hoje é uma grande obstáculo no uso dos computadores nas escolas: a formação adequada de seus professores para lidar com a tecnologia. Assim, ele sentiu que seu trabalho poderia ser mais



Figura 4.2: Máquina Devereux na França. Fonte: [36]

adequado a graus elementares mas em sistemas mais complexos como o que seria equivalente atualmente a escolas de ensino médio e superior e em educação industrial ou profissional, seria necessário uma máquina mais poderosa:

“The student sees printed material in the large window at the left. This may be a sentence to be completed, a question to be answered, or a problem to be solved. He writes his response in an uncovered portion of a paper strip at the right. He then moves a slider which covers the response he has written with a transparent mask and uncovers additional material in the larger opening...”. A Figura 4.4 mostra Skinner na década de 50.



Figura 4.3: Auto-Tutor (EUA)

Skinner descreve como a máquina poderia explicar erros comuns quando o estu-



Figura 4.4: B. F. Skinner . Fonte: UPI- The Bettmann Archive

dante comete um engano. A cada erro o estudante perfuraria um buraco no papel ao lado do erro para que o professor pudesse revisar progresso. Ele concluiu que:

“Exploratory research in schools and colleges indicates that what is now taught by teacher, textbook, lecture, or firm can be taught in half the time with half the effort by the machine of this general type...”

4.2.2 Máquina de Ensinar de Crowder

Em 1959, Crowder apud Bordeleau [37], um instrutor da Força Aérea Americana critica a programação linear de Skinner: seus erros, segundo ele, seriam inevitáveis no decorrer da instrução mesmo que se tenha mecanismos para corrigi-los. Ele propôs o conceito de programação ramificada, denominada de *programação intrínseca*. Este tipo de programação permite que desde o início do programa, de modo a adaptar a instrução ao aluno; ela considera as diferenças individuais. Crowder propôs uma máquina de ensinar que se ramifica, isso permitiria ao aluno atingir conhecimento mais complexo com a progressão de suas respostas e enquanto as considera. A máquina, muito sofisticada, conteria rolos de filmes nos quais seriam fixados seqüências de múltiplas instruções. Conteria consoles e botões de reles que juntos permitiriam os estudantes responder as questões. Mas a cada curso novo, seria necessário recarregar a máquina, uma operação complexa, o que limitaria sua utilização. Esta máquina pode ser considera a predecessora do ensino assistido pelo computador.

4.2.3 Máquina de Pask

Gordon Pask [83], um estudioso inglês da Cibernética [151], [180] acreditava que a abordagem de Skinner impunha ao aprendiz um padrão muito rígido de comportamento. Assim como Crowder, ele acreditava que poderia ser estabelecidas seqüências de instruções em outro modelo que não fosse de linearidade. Seu trabalho após 1954, foi dirigido ao conceito de máquinas de ensinar que poderiam se ajustar ao estilo de treinamento de cada aluno. No entender de Pask, o modo de intercâmbio com a máquina deve ser de natureza mais cooperativa do que diretiva. Deveria assim, ser estabelecido uma série de diálogos para serem produzidos entre os alunos e a máquina afim de que a mesma adaptasse suas respostas aos alunos e o contrário. Pask orientou sua atenção mais nas respostas dos alunos que eram positivas do que nas negativas, nos tipos de erros cometidos, nos tempos das respostas, com intuito de variar os graus de dificuldade das perguntas em função destes dados. Pask estava mais interessado em modelar o ensino sobre as respostas do aluno do que no conhecimento do professor, o que constitui uma ruptura em relação ao modelo Skinneriano clássico e o modelo de Crowderiano que se limitava a ramificações que continham algumas sucessões de instruções lineares e fechadas. Em 1959, Pask apresenta, sua denominada *Teoria da Conversação*, para a qual seria necessário uma máquina eletrônica muito rápida para estabelecer diálogos.

4.2.4 A “professora” mecânica

Em 1962, acontece uma conferência na Randolph Air Forces Basis do Texas. Este encontro reuniu uma série de especialistas do ensino programado na formação militar [154]. Desde encontro nasce então a “National Society for Programmed Instruction (NSPI)”. Ao mesmo tempo surge o “Journal for Programmed Instruction” com diversas publicações na área. Dentre estas destaca-se a de Susan Markle em 1964. Ela publica um manual de ensino programado intitulado “Good Frames and Bad” [37]. A sucesso desta publicação foi tanto que tornou-se o manual para autores do ensino programado porque expressava os princípios de desenvolvimento de tal ensino. Ela publicou na época uma grande quantidade de cursos programados, desde o maternal até a universidade. A Figura 4.5 mostra uma máquina, que pode ser abastecida com material didático, do tamanho de uma máquina de escrever, denominada DIDAK. Foi produzida pela Rhemm-Califone Corporation nos anos 50 [83].

Segundo Wilson [181], [182], um educador americano descreveu-a como “*a professora ideal que sempre diz a coisa certa no momento exato, ajusta... a matéria ao... aluno, tem uma paciência... sem fim, e nunca se enfada.*”. A Figura 4.6 mostra uma tira de papel na janela da DIDAK que intercala fatos com sentenças, que o

aluno completa no espaço adequado. Os defensores desta máquina afirmavam que o aprendiz participava ativamente do processo de aprendizagem, trabalhava em seu próprio ritmo e saberia durante todo o tempo, seu progresso, ou seja, que isto seriam todas as práticas educacionais ideais. Acreditava-se também que essa máquina teria um modo de ensino individualizado e a vantagem de ser produzida em massa. Entretanto, ela não fazia mais do que apresentar o material previamente colocado.



Figura 4.5: Máquina Didak Fonte: [182]



Figura 4.6: Janela da Máquina Didak Fonte: [182]

4.3 Máquina de Ensinar: O computador

Segundo Bordeleau [36], a primeira aplicação do computador na instrução data de 1950. O programa denominado *The Whirlwind* era um simulador de vôo para formação de pilotos em combate desenvolvido no M.I.T., Boston, por Ken Olsen e

Robert Everett. A partir disso, Olsen fundou a Digital Equipment Corporation (DEC) que tornou-se famosa pela produção dos minicomputadores da série PDP [46], [93]. Everett vai para a Mitre Corporation e finaliza o primeiro sistema de instruções por televisão assistida por computador (TICCIT). Sete anos depois, Simon Ramo, engenheiro e industrial americano, apresenta uma visão futurística dos computadores na educação. Ramo acreditava que as classes iriam ser automatizadas por completo. O computador seguiria os rastros da aprendizagem do aluno automaticamente através da interação deste com botões elétricos. Nesta visão, não haveria mais lugar para professores. Esses deveriam ser reciclados para programar estas máquinas. Ramo, propôs o conceito de “Computer Managed Instruction (C.M.I.)” isto é, Instrução Administrada por Computador. Em outras palavras, ensino gerado por computador, que necessitava de bancos de programas e banco de dados de alunos que só o computador poderia gerar. Sob esta visão o computador poderia:

- testar e medir a aprendizagem dos alunos e preservar os resultados;
- diagnosticar as dificuldades deles e prescrever um ensino corretivo;
- produzir um relatório sobre o progresso do aluno.

Segundo este sistema, os professores se livrariam da administração de treinamentos e poderiam se dedicar à preparação das lições.

Em 1959, a IBM desenvolveu para seus próprios propósitos de formação de pessoal, um sistema de ensino assistido por computador. Este sistema foi experimentado em alunos das escolas públicas do Estado de Nova York, EUA, no aprendizado de Matemática Binária. Este trabalho foi proposto por Rath, Anderson e Brianerd, pesquisadores do Teaching Machine Project no Watson Research Center da IBM. Os alunos trabalhavam em terminais (teletipos) ligados através de linha telefônica aos computadores da IBM. Após este projeto os pesquisadores finalizaram o primeiro sistema de autoria computacional, o “CourseWriter” que funcionou, alguns anos depois, no primeiro minicomputador dedicado ao ensino, o IBM 1500.

Na Universidade de Illinois, no início dos anos 60, Stolhuron apresenta o sistema SOCRATES (Systems for Organizing Content Review to and Teach Educational Subjects) [94]. Este sistema instaura entre o aluno e o computador ao qual ele estaria ligado, um diálogo do tipo Socrático, com perguntas e respostas, que poderia conduzir o aluno à consulta na biblioteca da universidade, caso ele precisasse chamar um professor se o conhecimento apresentado trouxesse alguma dificuldade.

Em 1960, a Universidade de Illinois, coloca outro projeto de pesquisa e desenvolvimento no domínio do Ensino assistido por computador. O sistema PLATO (Programmed Logic for Automated Teaching Operations), dirigido por Donald Bitzer

foi desenvolvido no CERL (to Compute Education Research Laboratory) [154]. Em 1961, são instalados numa sala do campus desta universidade, 25 terminais ligados ao computador ILIAC I. Acoplado ao ILIAC I existia um dispositivo eletromecânico complexo que permitia a visualização de eslaides. Em 1964, o ILIAC foi substituído por um computador mais poderoso, o Control Data 1604 que permitia a difusão dos tutoriais e suas simulações cujos diagramas eram visualizados primeiramente em tela colocadas em pontos da universidade e posteriormente em terminais tâteis de vídeo nos quais os alunos controlavam o computador. O PLATO espalhou-se nos Estados Unidos e na Europa sobre a bandeira comercial da Control Data. O tempo de acesso e as respostas eram relativamente lentos e o sistema era operacionalmente muito caro. O PLATO gerou um considerável bancos de programas que iam desde exercícios repetitivos e tutoriais com execução de simulações mais sofisticadas, com ajuda da linguagem de autoria TUTOR [37]. Em 1982, diversos programas do sistema PLATO [94] foram adaptados pela TenCore para microcomputadores, incluindo a linguagem TUTOR , denominados então de EnBasic [36] conforme mostra a Figura 4.7.



Figura 4.7: EnBasic: adaptação dos programas do PLATO. Fonte: [36]

Em 1963, Patrick Suppes [166], do Instituto de Estudos Matemáticos da Universidade de Stanford inicia um programa de pesquisa e desenvolvimento de ensino assistido por computador, particularmente no domínio do ensino de Matemática. As pesquisas se consolidam na criação de numerosos conjuntos de exercícios e tutoriais como resultados de suas experiências elaboradas sobre as etapas da aprendizagem em matemática. Os programas eram testado com os alunos e revisados antes da distribuição. Em colaboração com a IBM, o grupo de Stanford aperfeiçoou o sistema de autoria “Coursewriter”. Em 1967, Suppes apud Barr [23] desenvolvem o EXCHECK para ensino de Lógica e Teoria dos Conjuntos. Este programa reagia às respostas dos alunos com mensagens instrucionais. Pode-se dizer que foi o precursor da modelagem qualitativa pois representava a matéria através de demonstrações e exemplos. O trabalhos de Suppes [166] e seus colaboradores foram comercializados

posteriormente pelo “The Computer Curriculum Corporation”. No início dos anos 80, estes trabalhos foram também transportados para microcomputadores.

Em 1964, a IBM finaliza uma tela de raios catódicos especialmente desenvolvida para ensino assistido por computador. Em 1966, com a participação do grupo de Suppes [166], é proposto o IBM 1500, o primeiro computador destinado ao ensino assistido por computador. Em 1967, dando continuidade aos esforços de Bitzer (PLATO) e de Suppes, um comitê científico apresentou para o presidente dos Estados Unidos recomendações para o uso de computadores na alfabetização de crianças nas escolas americanas. Isto inicia a formação de um sindicato constituído de um grupo de escolas de Minnesota, denominado TIES (“Total Information for Education Systems”), que incentivava o uso do computador na escola.

Baseando-se nos sistemas TUTOR [94] e o Coursewriter, John Starkweather do Centro Médico da Universidade da Califórnia finaliza, em 1969, outro sistema de autoria denominado PILOT que atinge um certo sucesso comercial. Assim, em 1973 começam a ser padronizadas diversas versões baseadas no PILOT [37]. Uma dessas diversas versões foi posteriormente desenvolvida para computadores Apple II, Commodore 64 e PC conforme mostra a Figura 4.8.



Figura 4.8: TUTOR: versões para computadores Apple II, Commodore 64 e PC

De acordo com Bordeleau [37] a primeira aplicação educativa do hipertexto foi feita pelo Professor Vam Dam da Universidade Brown, em 1970 nos EUA. Para isso foi utilizado um sistema hipertexto distribuído em terminais para auxiliar o ensino de poesia inglesa. O sistema continha a informação biográfica dos poetas estudados e as datas do estilo poético de cada um. Estas informações, eram postas em relação aos comentários do professor em cada tópico estudado. Neste mesmo ano, de 8 a 10 de julho, acontece em Bloomfield Hill, Michigan a “National Conference on Computer Application to Learning”.

Em 1971, os pesquisadores americanos do “National Education Committee” [36] fazem uma forte crítica ao uso da educação com recursos audiovisuais em um relatório que proclama que a solução é a tecnologia educacional (instructional technology). A intenção era melhorar o ensino e a aprendizagem de acordo com uma abordagem sistemática que ligava seres humanos aos meios tecnológicos, principalmente o computador.

Em 1978, o projeto PLATO [94] está em sua Quinta geração. Os terminais da Control Data tornam-se uma realidade para microcomputadores graças ao microprocessador de 8 bits 8080 da Intel que executam operações autônomas, o que anteriormente necessitava dos recursos de um grande computador.

4.4 Por quê... computador?

Os primeiros programas educacionais foram influenciados pela teoria “behaviorista” [162]. Neste paradigma educacional o Ensino ou instrução é um processo de estímulo-resposta, e existe uma grande preocupação em medir a aprendizagem [144]. As idéias eram influenciadas pelas teorias mecanicistas de Pavlov, Thorndike, Watson [86] e Skinner [162]. Passo a passo, são desenvolvidas alternativas ao ensino programado fundamentado na teoria construtivista de Piaget [137]. Dentre estas alternativas se destacam os trabalhos pioneiros de Seymour Papert [136] do MIT, através da introdução de uma linguagem de programação de computadores especialmente desenvolvida para a Educação, a linguagem LOGO [136].

A ligação entre o Ensino e o computador pode ser vista em um contínuo de facetas, indo desde o computador sendo usado em um ambiente de Ensino-Aprendizagem para facilitar diversas tarefas usuais, do computador tomando parte ativa e total no processo. No primeiro caso o computador age como elemento de modificação de uma cultura. O Ensino proporcionado é dependente da modificação desta cultura e é já fato corrente em muitas instituições de Ensino. Um fator importante nesta modificação de cultura é o fato de microcomputadores com capacidades suficientes para uso em tratamento de textos, preparação de gráficos, criação de pequenas base de dados, planilhas, etc.

No outro extremo temos o computador tomando todas as iniciativas do processo de transmissão de conhecimentos, desde a apresentação do assunto até a verificação de conhecimentos. Em suma, o espectro de utilizações de computador no Ensino pode ser classificado como:

- agente modificador do ambiente de vida do aluno;
- jogo educativo;

- aparelho de laboratório;
- enciclopédia;
- interlocutor pedagógico.

Os jogos, popularizados com a disseminação dos microcomputadores, produzem freqüentemente uma certa aprendizagem como efeito colateral. Por exemplo, um simulador de vôo permite introduzir noções básicas de pilotagem, outros apuram reflexos, outros desenvolvem memória. Um ponto alto nos jogos é a motivação, dependendo do filtro do aprendiz. Um ponto baixo é que o rendimento da aprendizagem pode diminuir. Como aparelho de laboratório o computador permite experiências usando o conceito de simulação (no sentido de experiências com modelos em geral). Há uma grande liberdade por parte do aluno que é livre, de uma certa forma na escolha de suas experiências.

A linguagem LOGO [136] é um exemplo simples, em que o computador simula o movimento de uma tartaruga que deixa atrás de si um rastro e que se move obedecendo a comandos. O domínio das experiências é o das figuras geométricas.

O uso de enciclopédias é quando o computador atua como armazenador de conhecimentos que podem ser consultados segundo as necessidades dos alunos. Pode ir desde uma implementação de banco de dados para consultas até um esquema capaz de, usando conhecimentos enciclopédicos, efetuar deduções.

O uso como interlocutor pedagógico é o modo em que geralmente se pensa quando se fala em Ensino com computador e é aquele em que o computador substitui, ao menos durante intervalos de tempo, um ser humano. Este modo é especialmente útil na formação contínua após os estudos em estabelecimentos de Ensino, se bem que seu uso durante o Ensino formal possa ampliar suas possibilidades.

Alguns usos do computador no Ensino primário e secundário, podem ser dos seguintes modos:

- práticas e exercícios: é bastante usado pois os programas são geralmente simples. O programa apresenta exercícios e verifica se as respostas são boas;
- tutoriais;
- ferramentas de auxílio ao Ensino;
- simulações.

Num contexto educacional atualizado pode-se pensar que o computador pode ter diferentes papéis, desde o apoio aos professores e estudantes até a geração de comunidades virtuais [2], [33], [58], [67], [88], [96], [141], [145], [176], utilizando ferramentas de Inteligência Artificial [105], [140], [161].

4.5 Ensino Computadorizado Inteligente

As primeiras tentativas do que pode ser denominado de "Ensino inteligente auxiliado por computador" estão nos trabalhos com Sistemas Especialistas (SE) [23], [48]. Nestes sistemas tentava-se imitar um professor, especialista em um domínio, através da modelagem de ensino voltada para as características dos alunos [77]. Estes sistemas tentavam resolver problemas causadas pela limitação dos sistemas de ensino auxiliado por computador clássico que eram incapazes de:

- Conversar com o aluno em linguagem natural;
- Entender a disciplina de forma a responder perguntas inesperadas;
- Decidir o que deve ser ensinado nos passos seguintes;
- Antecipar, diagnosticar e entender os erros dos alunos e suas falsas concepções;
- melhorar e modificar estratégias de ensino progressivamente ou na aprendizagem de novos conceitos.

Em 1970, Carbonell [43] desenvolveu o SCHOLAR para ensino de geografia da América do Sul. Utilizava a modelagem do estudante. A representação do conhecimento estava contida numa base de dados organizada em redes semânticas. Por exemplo, todos os dados relativos à cidade do Rio de Janeiro eram reagrupados em um nó da rede que permitia formular algumas regras em níveis superiores da rede que podiam ser compartilhadas com outros nós inferiores. Além disso, um conjunto de regras permite o computador gerar conhecimento quando confronta-se com uma pergunta particular [37].

Em 1973, foi desenvolvido o INTEGRATION. Sua principal característica é que integrava o conhecimento do domínio com o modelo do estudante de maneira a direcionar a seqüência de ensino [27].

Em 1974, é lançado o SOPHIE (com versões I, II, III) que ensina, através de tentativas e erro, através de uma base de conhecimento contendo regras e procedimentos, para detecção de defeitos circuitos elétricos. Talvez seu maior mérito seja motivar o estudo da física qualitativa. Pode ser considerado pioneiro no uso da simulação [27].

Em 1973, Shortliffe [158], [159] lança o MYCIN, utilizado para auxílio no diagnóstico de doenças infecciosas do sangue, sugerindo o tratamento. Neste sistema existe a separação entre a base de conhecimento e o modo de manipulação do conhecimento [23].

O WHY, foi implementado em 1977 por Stevens e Collins [165] e usava a técnica socrática. Nesta técnica as perguntas são formuladas para provocar a reflexão do aprendiz sobre o assunto.

A concepção do BUGGY em 1978, fazia um modelo psicológico do aluno para detectar erros conceituais em cálculos aritméticos. Possuía mecanismos de aprendizagem usados para aprender como o aluno resolve problemas [94].

MUMATH é um programa de solução de problemas de matemática simbólica tais como cálculo matricial, cálculo diferencial e integral. O programa não apresenta conjunto de lições mas oferece, como LOGO, um ambiente experimental, com uso de programa capaz de tratar símbolos, que colabora no ensino de matemática [94].

O GUIDON, construído por Clancey [48] em 1979, inicialmente usando a base de conhecimentos do MYCIN pode, em princípio ser utilizado em outros domínios de conhecimento. O sistema caracteriza-se pelo uso de graus de pertinência da mesma forma usada em conjuntos nebulosos e permite um diálogo da mesma maneira que o MYCIN [49] na resolução de um problema em particular. O estudante pode comparar seu progresso a de um especialista porque o sistema era capaz de explicar seu próprio raciocínio. Os trabalhos de Clancey [49], [50], [52] e [51] abordam os aspectos construtivos de sistemas de tutoria baseados em conhecimentos.

O PROFCOMP [19] no início dos anos 80 introduziu simulação e conceitos de hipertexto no ensino de circuitos [128]. O SIMED [132] integrou conceitos de hipertexto [130], [129], citePagano90c, simulação e IA no ensino de medicina [103], [31], [175]. Detalhes sobre estes sistemas podem ser obtidos em Pagano [127], [126], [131] e [133].

O MENO-TUTOR, segundo Ramirez [144], de 1984, não possui nenhum domínio específico. Se preocupa basicamente com o módulo de ensino contendo regras pedagógicas. Este módulo é descrito como um conjunto de unidades de decisão organizadas em três níveis de planificações que vão refinando sucessivamente as ações do tutor.

Segundo Almeida [5] o quadro 4.1 mostra outros esforços proeminentes historicamente no desenvolvimento de programas de ensino com IA.

Em 1988, surgiu o APLUSIX, para ensino de manipulação algébrica. Segue o modelo clássico de ICAI, possuindo um SE baseado em regras, um módulo pedagógico, modelo de estudante e uma interface ergonômica [144].

WUMPUS e WEST [94] são dois jogos aos quais se incorporou um módulo para orientar jogadas e ensinar a jogar. Os jogos podem funcionar de modo totalmente independente da parte de ensino.

Uma alternativa para o desenvolvimento de sistemas que rompiam com o Behaviorismo foi a concepção das linguagens LOGO e do SMALLTALK [35].

Tabela 4.1: Alguns ITS históricos - adaptado de Kaplan [94]

ITS	Desenvolvedor	Ano	Domínio	palavra-chave
DEBUGGY	Burton	1982	aritmética	diagnósticos “off-line”
STEAMER	Hollan	1983	projeto de navios	simulação, modelos mentais
LMS	Sleeman	1984	álgebra	regras
MENO	Woolf	1984	metereologia	regras pedagógicas
PROUST	Johnson	1984	programação	diagnose
ACTP	Anderson	1984	tutor LISP	modelagem cognitiva
SIERRA	Vanlehn	1987	aritmética	predição de erros
SHERLOCK	Lesgold	1991	eletrônica de AF	aprendizagem cognitiva

O LOGO é uma simplificação da linguagem LISP desenvolvida por Seymour Papert [136]. Estes sistemas partem do princípio de que é necessário que encorajar o estudante a programar a máquina e não o contrário.

A primeira versão do LOGO foi introduzida em 1966 no MIT como uma influência dos estudos de Papert [136] sobre os trabalhos de Jean Piaget [138], [139]. Ele introduzia a versão Construtivista [60] no treinamento computadorizado, no qual o estudante poderia construir seu próprio conhecimento através da exploração enquanto trabalha com objetos de conhecimento apropriados. Em 1970, nasce então a metáfora da tartaruga gráfica, um pequeno cursos que se move na tela e desenha algumas formas geométricas de acordo com as instruções dadas ao computador por uma criança que programa em LOGO [59].

Em 1979, Adele Goldberg, da Xerox de Palo Alto, Califórnia experimenta o ambiente SMALLTALK com crianças [35]. Este sistema propõe que os usuários, adultos ou crianças pode modelar as ferramentas que lhe são necessárias, particularmente na Educação.

Uma criança que trabalhe com LOGO utiliza procedimentos e listas e entende a importância dos estágios do programa e o princípio da recursividade, aquelas que trabalham com SMALLTALK utilizam a idéia de objetos e classes. Segundo

Goldberg apud Bordeleau [37] o SMALLTALK é provavelmente mais um protótipo do que um paradigma de programação acabado. Teve uma grande influência nos anos 90 como um paradigma orientado a objetos que auxilia o entendimento do ambiente computacional.

4.6 Paradigmas Formais de Sistemas de Ensino Inteligente

Segundo [5] vários paradigmas educacionais são atualmente interpretados para desenvolver elementos formais de sistemas de Ensino com IA [61]. De um modo geral, os modos de utilização da IA na construção de programas de Ensino em geral englobam:

- modelo da matéria,
- modelo do aluno,
- estratégias de ensino.

O modelo do aluno significa o conhecimento do que o aluno sabe e não sabe Barreto apud Almeida [5]. Neste caso, o modelo do aluno é a representação de conhecimentos anteriores, de suas dúvidas e de seu modo preferencial de aprender. Isto envolve conhecimentos de Psicologia e Ciência Cognitiva [154].

O modelo da matéria motiva estudos dependentes do assunto a transmitir. Isto conduz que assim para ensinar o funcionamento de um sistema físico é útil o uso da física qualitativa da mesma forma que para o ensino de geografia tais conceitos deixam de ser importantes e outros tomam seu lugar.

As estratégias de ensino são campo da didática e como tais interagem com o assunto a ensinar e com o modelo do aluno.

Cada um dos níveis de possibilidade de uso da IA corresponde a técnicas particulares, e necessidades freqüentemente diferentes, interagindo com diversos campos de conhecimento. Pela interação com outros assuntos o uso da IA em ensino torna-se não somente uma forma mais adequada de transmissão de conhecimentos mas um estímulo a novas pesquisas.

Existem inúmeras variações mas, em geral, os sistemas de ensino inteligente auxiliados por computador possuem três módulos básicos, conforme encontrado em Ulbricht [173]:

- módulo especialista: possui o conhecimento a ser compreendido;

- módulo de aprendizagem: contém o histórico do aluno, seus erros e a reprodução do comportamento do aluno;
- módulo tutor: contém o conhecimento necessário para listar e apresentar o conhecimento do módulo especialista empregando este conhecimento para efetuar as estratégias didáticas.

Almeida [5] aponta a existência de superposições com abordagens híbridas que podem combinar os diversos módulos. Nievola [124], por exemplo, apresenta a estrutura básica de um sistema de ensino inteligente auxiliado por computador com os três módulos principais anteriores, sendo o módulo de aprendizagem denominado “módulo estudante”. Estas divisões são mais conceituais que concretas. Nievola desenvolveu um sistema de ensino inteligente no qual o estudante ou médico a ser treinado, antes de manipular diretamente os pacientes no serviço de atendimento de emergência de traumatologia, exercita seus conhecimentos em um simulador.

Ulbricht [173], [174], [172] aponta a contribuição de um simulador e de um gerador de exercícios na realização de um tutor inteligente voltado para a formação de oficiais bombeiros, que trabalham a nível de decisão. O processo de ensino foi decomposto em várias tarefas principais, como:

- apresentação do problema ao aluno;
- aquisição e análise da resposta;
- evolução do nível de conhecimento;
- encadeamento sobre uma outra situação.

Cada etapa do processo pedagógico, coloca em funcionamento um módulo particular. Assim, a apresentação do problema é feita por um simulador, a análise da resposta é feita por analisador, que vai submeter o resultado da avaliação ao gerador de exercícios, que, em função do objetivo pedagógico fixado vai gerar um novo exercício.

Tarby [168] divide o projeto de sistemas tutoriais inteligentes em quatro módulos principais:

- Projeto do módulo especialista: o papel deste módulo é analisar os resultados do aluno e transmiti-los ao módulo do professor;
- Projeto do módulo modelo de aluno, o qual é a representação computacional do estudante. Ele contém o conhecimento, as crenças, etc., do aluno;

- Projeto do módulo professor. Este módulo é a representação computacional do professor. Um de seus papéis é o gerenciamento da seqüência das lições;
- Projeto da interface com o usuário (GUI). A interface com o usuário é muito importante porque é obrigatório o uso da interface pelo estudante.

Muitos estudos recentes reforçam sua atenção no diálogo humano com o computador. O diálogo é definido por Tarby [168] como um conjunto de interações possíveis do estudante numa aplicação e a realimentação visível produzida por esta aplicação. Dois problemas ainda persistem atualmente neste domínio.

Primeiro é o projeto deste diálogo, e segundo, é a implementação e o gerenciamento deste diálogo.

Geralmente, num projeto de ITS são encontrados os seguintes problemas:

- O que o estudante pode fazer?
- Quais são as maneiras possíveis para que o estudante obtenha um resultado?
- Como deveria ser construído o ITS? Quais são os tópicos que os estudantes devem aprender e quais são os tópicos que eles podem descartar?

Após o projeto, torna-se necessário implementar o diálogo. Uma vez que isto é feito, Tarby [168] aponta que poderão surgir outros problemas:

- Como podem ser representadas as restrições das lições?
- Como o estudante pode ser auxiliado quando necessita?
- Como pode ser assegurado que o estudante só fará o que lhe é permitido?

Estes problemas ainda são muitos complexos pois os estudantes deverão trabalhar numa ampla escala de decisão para não transgredirem as restrições dos diálogos.

Muitos trabalhos são feitos no campo da Orientação a Objetos, formalismos e diagramas de estado. Tarby [168] sugere modelos que tenham uma “lógica de uso” para processo e dados, fazendo especificações coerentes com a visão do usuário da aplicação (planejamento hierárquico). Trata-se de um trabalho interessante pois a junção dos objetos, de regras e de um motor de inferência para manipulação destas regras permite ao usuário o gerenciamento automático da aplicação através da interface.

Um modo de compreender um assunto é ter de explicá-lo. As técnicas de inteligência necessitam uma explicação do conhecimento. É assim que se pode esperar

dos estudos para aplicações ao ensino uma melhor compreensão de todo o processo de aprendizado...

Uma forma mais interessante e recente de classificar tais sistemas é utilizar conceitos de IA distribuída tais como definiu Barreto [29]. Assim um sistema poderia conter:

- agente especialista: origem do conhecimento a ser transmitido, pode ser humano ou outro sistema de ensino cuja base de conhecimento é consultada;
- agente espelho do especialista: que contém o conhecimento a ser transmitido, com a capacidade de responder dúvidas, reconhecer a solução errada e apresentar diferentes exercícios com solução comum;
- agente estudante: geralmente um humano mas poderia ser também outro sistema de ensino;
- agente espelho do estudante: onde são armazenadas as informações sobre o aluno (quantidade de compreensão do assunto, estratégia de ensino preferida, erros cometidos no processo de aprendizagem e estratégia utilizada para a resolução de problemas) e determinando o nível em que o aluno se encontra com relação a um conhecimento específico;
- agente tutor: que contém as estratégias, regras e processos que orientam as interações do sistema com o estudante. Cabe a este módulo determinar que tipo de problema o aluno deve resolver num determinado momento, controlar e criticar o rendimento do aluno, facilitar ajuda sempre que solicitado, selecionar material de apoio em casos de erros e permitir ou não um determinado erro do aluno;
- agente interface com o usuário: encarregado de gerar procedimentos corretos para o estudante, interpretar suas respostas, organizá-las e repassá-las ao sistema. Para este módulo é importante resolver os problemas de compreensão da linguagem natural.

Pode-se discutir o mérito do Ensino por máquinas, mas é incontestável que elas vêm auxiliando o processo de Ensino-aprendizagem ao longo dos anos. E a cada dia são feitos esforços para que elas possam ser ferramentas úteis na construção dos conhecimentos humanos [38], [56], [94], [110], [154], [178].

Um grande passo neste sentido é também torná-las capazes de aprender. A evolução do computador e das estratégias educacionais com certeza colaboram para o desenvolvimento dos ambientes de ensino.

A Inteligência Artificial no Ensino¹, aliada às redes de computadores, são poderosos recursos da Computação para melhoria da qualidade dos programas de ensino. Entretanto, não deve ser esquecido que a especificação correta dos sistemas são altamente desejáveis para seu funcionamento correto e eficácia no processo de Ensino-aprendizagem. Assim, a seguir no Capítulo 5, tem-se uma definição teórica de um modelo Hipermídia fundamentado na Teoria de Autômatas, considerando-se que isto pode aumentar o potencial destes sistemas quando são considerados seus aspectos dinâmicos.

**

¹Uma leitura mais detalhada sobre as “Perspectivas da Inteligência Artificial no Ensino” pode ser encontrada no trabalho de Almeida [5]

Capítulo 5

Hipermídia: Modelo Teórico

*“The only way to rectify our reasonings
is to make them as tangible as those of
the mathematicians, so that we can find
our error at a glance, and when there are
disputes among persons we can simply say,
‘Let us calculate ... to see who is right.’ ”*
Leibniz, The Art of Discovery.

Neste capítulo são apresentados os conceitos básicos da Teoria dos Autômatas e de Sistemas Hipertexto (ou hipermídia) como Autômatata, visando mostrar o ferramental teórico necessário na unificação destas duas teorias à Teoria das Categorias.

5.1 Definição teórica de Hipertexto

Os trabalhos de Pagano [126], [127], [128], [130] e [129] apresentam uma definição teórica de hipertexto. Segundo Pagano o hipertexto tem sido apresentado dentro da perspectiva teórica, como um grafo, como uma rede semântica ou como rede de Petri. A maioria destas abordagens não incorpora todas as características do hipertexto, sendo formalismos de natureza declarativa que não consideram os aspectos dinâmicos do hipertexto. Um modelo formal de hipertexto ou de hipermídia (o computador gerencia vários meios para apresentar a informação e isto justifica porque as implementações de hipertexto são às vezes denominadas de hipermídia), pode ser fundamentado na Teoria de Autômatas, incorporando não somente os aspectos declarativos do sistema (por exemplo, o diagrama de transição), mas também

os aspectos dinâmicos (a evolução no tempo do autômata em resposta a qualquer seqüência de entrada de dados).

5.2 Conceitos básicos da Teoria de Autômata

Um autômata pode ser considerado como uma particularização de um sistema dinâmico. Informalmente, pode-se dizer que o rótulo “dinâmico” tem o mesmo significado de “causal”: as entradas passadas influenciam o futuro mas o contrário não é verdadeiro. Ou seja, a noção matemática de sistema dinâmico serve para descrever o fluxo de causa entre o passado e o futuro. Em um sistema dinâmico descreve-se um sistema como se estivesse descrevendo o mecanismo de como ele trabalha (internamente), especificando como o conjunto dos estados varia com o tempo [26]. Tal descrição é suficiente para gerar uma definição comportamental.

Definição 5.2.1 *Um Sistema Dinâmico é o objeto matemático descrito em como:*

$$S_d = \{T, U, \Psi, Y, \Lambda, X, \Sigma, \delta\}$$

onde:

T é o conjunto dos tempos,

Ψ é o conjunto de funções de entrada $\psi \in \Psi = \{\psi : \rightarrow U\}$,

U é o conjunto dos valores de entradas,

Y é o conjunto dos valores de saídas,

Λ é o conjunto de funções de saída $\lambda \in \Lambda = \{\lambda : T \rightarrow Y\}$,

X é o conjunto dos estados,

Σ é a função de transição de estados $\Sigma : T \times T \times \Psi \rightarrow X$,

δ é a função de saída $\delta : T \times X \times U \rightarrow Y$,

Informalmente, a noção de sistema dinâmico corresponde a um sistema funcional temporal cujo estado varia com o tempo dependendo do valor da entrada. Assim, todos os sistemas dinâmicos são sistemas temporais e funcionais. As escolhas particulares dos conjuntos envolvidos na definição de sistema dinâmico conduzem a diferentes tipos de sistemas. Detalhes sobre tais sistemas podem ser obtidos em Barreto [26].

Definição 5.2.2 *Um Sistema Dinâmico Contínuo no Tempo (ou sistema contínuo no tempo) é um sistema dinâmico onde:*

T é um subconjunto dos números reais,

X, U, Y são subconjuntos de R^n, R^m, R^p , espaço real n, m, p -dimensional,

Σ é um conjunto de funções diferenciáveis em relação a t .

Definição 5.2.3 *Um Sistema Dinâmico Discreto no Tempo (ou sistema discreto no tempo) é um sistema dinâmico no qual o conjunto dos tempos é um subconjunto dos inteiros.*

Definição 5.2.4 *Um Sistema Invariante no Tempo é um sistema dinâmico cuja função de transição Σ depende de um único elemento de T e a função de saída é independente de T .*

É útil tomar como uma primeira aproximação de um sistema real um modelo invariante no tempo ou em sistema estacionário. O fato de que a função de transição depende somente de um elemento de T , significa que o valor do estado não depende do tempo inicial nem do tempo considerado, mas somente do intervalo de tempo entre o tempo inicial e o tempo considerado. A função de saída sendo independente do tempo significa que para qualquer instante, estado e entrada iguais, produz-se a mesma saída. Se este é o caso, para qualquer tempo inicial, somente a duração do experimento é importante para determinar o estado e a saída em qualquer instante.

Como lidar com sistemas variantes no tempo frequentemente não é muito fácil, às vezes, o espaço de estado é enriquecido com uma nova variável tempo e o sistema resultante não é mais um sistema variante no tempo. Então, pode-se dizer que a qualquer sistema variante no tempo corresponde um sistema invariante no tempo, no qual o tempo foi considerado como um novo elemento do conjunto dos estados, este o conjunto dos tempos¹.

Um tipo muito usual de sistema dinâmico em Ciência da Computação é a *máquina de estados finitos*. Informalmente, uma máquina de estados finitos é um sistema dinâmico onde o conjunto dos tempos é o conjunto dos inteiros, e a entrada, a saída e os estados são conjuntos finitos. Neste caso, os valores possíveis da entrada e da saída são referidos como alfabetos de entrada e saída. Sob estas simplificações, não é essencial indicar explicitamente o conjunto dos tempos T nem explicitamente introduzir Ψ e Λ . Por outro lado, é usual declarar explicitamente um estado inicial correspondente ao tempo zero [26].

Definição 5.2.5 *Um Autômata (ou máquina) é descrito abstratamente como uma sêxtupla [26]:*

$$A_t = \{U, Y, X, x_0, \lambda, \eta\}$$

onde:

¹Esta equivalência entre sistemas variantes e invariantes no tempo pode parecer muito abstrata. Contudo, na escrita do código de simulação para sistemas variantes no tempo, ela é frequentemente utilizada [26].

U é um conjunto finito de entradas,
 Y é um conjunto finito de saídas,
 X é um conjunto de estados ou espaço de estado,
 $x_0 \in X$ é o estado inicial,
 $\lambda : U \times X \rightarrow X$ é a função de próximo estado ou função de transição,
 $\eta : U \times X \rightarrow Y$ é a função de próxima saída.

Definição 5.2.6 *Um autômata é um sistema dinâmico invariante e discreto no tempo. Quando o espaço de estado é um conjunto finito, o autômata é chamado de autômata finito .*

Então, esta sêxtupla formal é interpretada como sendo uma descrição matemática de uma máquina à qual, se no tempo t_0 , estiver no estado x_0 e receber um segmento de entrada u do tempo t_0 ao tempo t estará no tempo t no estado $\lambda(x, u)$ e emitirá a saída $\eta(x, u)$ [26].

Exemplo 5.2.1 *Considerando-se o autômata M :*

$$M = \{U, Y, X, x_0, \rho, \delta\}$$

onde:

$U = \{0, 1\}$, conjunto de entradas,
 $Y = \{\alpha, \beta, \pi\}$, conjunto de saídas,
 $X = \{A, B, C\}$, conjunto de estados,
 x_0 , estado inicial que pode ser tanto A , B como C ,
 $\rho : U \times X \rightarrow X$, função de próximo estado,
 $\delta : U \times X \rightarrow Y$, função de próxima saída.

Os valores das funções ρ e δ são dados por:

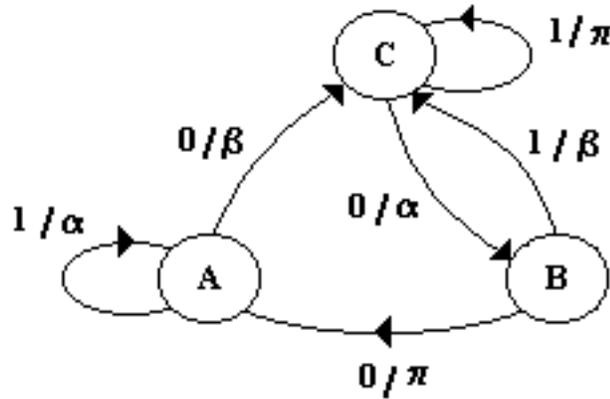
$$\begin{aligned}
 \rho(0, A) &= C & ; & \quad \delta(0, A) = \beta \\
 \rho(1, A) &= A & ; & \quad \delta(1, A) = \alpha \\
 \rho(0, B) &= A & ; & \quad \delta(0, B) = \pi \\
 \rho(1, B) &= C & ; & \quad \delta(1, B) = \beta \\
 \rho(0, C) &= B & ; & \quad \delta(0, C) = \alpha \\
 \rho(1, C) &= C & ; & \quad \delta(1, C) = \pi
 \end{aligned}$$

Pode-se construir a Tabela 5.1 de transição de estados ρ para autômata M .

Estado presente X	A	A	B	B	C	C
Entrada U	0	1	0	1	0	1
Próximo estado Y	C	A	A	C	B	C
Próxima saída δ	β	α	π	β	α	π

Tabela 5.1: Transição de estados do autômata M

Este autômata M pode ser representado por um grafo orientado conforme ilustra a Figura 5.1. Nota-se que o mesmo estado de um autômata pode ter uma ou mais saídas. Por exemplo, o estado A do autômata M pode ter as saídas α ou β . E ainda, dois estados diferentes, como A e B do autômata M podem ter a mesma saída, como por exemplo, β .

Figura 5.1: Grafo representando o autômata M

Essencialmente existem dois tipos de representação em grafos.

1. A cada estado, é associado um nó do grafo (círculo) e para cada transição de estado associa-se os arcos (com setas). Ao lado de cada arco orientado (setas), são indicados: as entradas aplicadas ao estado original (início da seta) e a saída resultante no próximo estado (final da seta).
2. Associa-se a cada subconjunto de nós um estado. A função de saída tem por argumentos este subconjunto de nós e a entrada que faz o mapeamento na saída, que persiste, até a próxima entrada.

Definição 5.2.7 *Dois autômatas que apresentam o mesmo par de segmento de entrada e segmento de saída são ditos equivalentes no nível comportamental.*

5.3 Hipertexto como autômata

A introdução de características dinâmicas parece aumentar as possibilidades do hipertexto em ambientes de aprendizagem computadorizados, conforme demonstrados em Pagano [126], [127], [128], [129]. Um modelo teórico de hipertexto necessita de três conceitos a serem incorporados: o nó de informação, a ligação entre os nós e os nós de simultaneidade. Este último conceito, considerando-se que um ou mais nós podem ser apresentados simultaneamente na tela.

Um sistema computacional, denominado hipertexto, pode ser convenientemente definido como autômata:

Definição 5.3.1 *Um hipertexto H_p é descrito abstratamente como a séxtupla:*

$$H_p = \{U, Y, X, x_0, \rho, \delta\}$$

onde:

U é o alfabeto finito de entrada,

Y é o alfabeto finito de saída,

X é o espaço de estado finito,

$x_0 \in X_0 \subset X$ é o estado inicial,

$\rho : U \times X \rightarrow$ é a função de transição de estados,

$\delta : U \times X \rightarrow$ é a função de saída do próximo estado.

O alfabeto de entrada U do hipertexto H_p é o conjunto de valores que o usuário pode introduzir no sistema, através do teclado, “mouse” ou qualquer outro dispositivo. As ações, como mudança de tamanho de uma janela, acionamento de botão, etc., geram o alfabeto de entrada.

O conceito de *estado* conduz ao aspecto dinâmico do hipertexto. A possibilidade de apresentação simultânea de nós de um hipertexto é essencialmente uma porção deste modelo através do conceito de estado. Se cada nó de informação é associado, por exemplo, com uma janela na tela do computador (uma forma possível de saída), então um conjunto de janelas na tela caracteriza um estado x do hipertexto H_p .

O estado inicial $x_0 \in X_0 \subset X$ do hipertexto H_p é qualquer estado no qual o usuário pode começar a navegar no documento. Pode existir um ou mais estados iniciais (configuração de nós) dos quais, por exemplo, um pode iniciar a localização de uma base de dados. X_0 é o conjunto de todos os estados iniciais possíveis e um subconjunto de todos os estados possíveis.

A função de transição pode ser referida como uma ligação (“link”) que “junta” o hipertexto como um todo.

A função de transição ρ do hipertexto H_p é a função que conduz o sistema hipertexto de um estado a outro, dada uma seqüência de dados da entrada.

O usuário poderá notar a transição de estado a outro se o conjunto de nós apresentados a ele em um novo estado tem valores de saída diferentes do estado anterior.

O alfabeto de saída Y de um hipertexto H_p inclui todas as formas de representação da informação que são vistas pelo usuário na tela. O tamanho e a forma de cada janela na tela, suas posições relativas, gráficos, sons, vídeo, etc., caracterizam um alfabeto de saída.

A função de transição δ de um hipertexto H_p é uma função que, dada uma seqüência de entrada e um estado, oferece a informação e sua representação na tela ou em qualquer outro dispositivo. As possibilidades de apresentação dependerão da riqueza do alfabeto de saída. A função δ possui valores no alfabeto de saída, um conjunto de meios de apresentação que depende do estado dado e do alfabeto de entrada.

Se cada nó de informação é associado, por exemplo, com uma janela na tela do computador (uma forma possível de entrada), então um conjunto de janelas na tela caracteriza um estado x do hipertexto. Pagano [133] colocou isto em termos formais como:

Considerando n como um nó, isto é, a unidade indivisível da informação. Sendo N o conjunto de todos os nós existentes do documento:

$$N = \{n_1, n_2, \dots, n_p\}$$

Sendo $P(N)$ o conjunto de partes de N , então:

$$P(N) = \{\phi, \{n_1\}, \{n_1, n_2\}, \dots, N\}$$

O conjunto de estados ou espaço de estados X do hipertexto H_p é igual a $P(N)$. O estado $x \in X$ do hipertexto H_p é um elemento de $P(N)$.

De modo a ilustrar o conceito de hipertexto como um autômata, são consideradas duas situações (dois elementos diferentes no conjunto de tempos) que serão descritos a seguir e que correspondem a Figura 5.2. Este exemplo ilustra também a segunda representação dos grafos como mostrado na subseção 5.2.

Exemplo 5.3.1 *No lado esquerdo da Figura 5.2 são mostrados os nós 20 e 30 de um hipertexto qualquer. Uma entrada do tipo “acionar o mouse no nó 30” torna a saída conforme mostrado no lado direito da Figura 5.2. Observa-se que a saída mudou mas o estado não.*

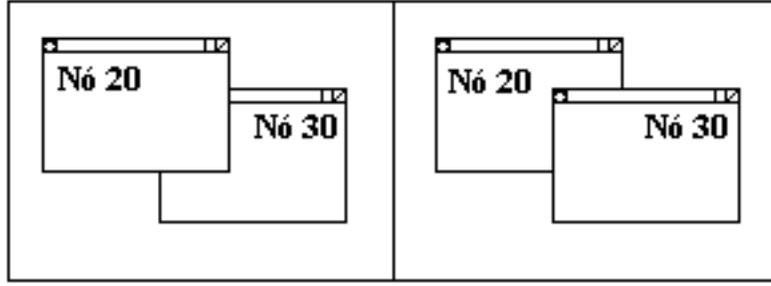


Figura 5.2: Mudança de saída e inalteração de estado no hipertexto H_p

No Exemplo 5.3.1 para cada valor de tempo corresponde um e somente um estado. Nesta situação, o estado do hipertexto H_p , em um determinado instante, é $x_1 = \{n_{20}, n_{30}\}$ e o alfabeto de saída é y_1 . Isto é, y_1 é a apresentação visual, o conjunto de janelas como visto na tela esquerda da Figura 5.2 (gráficos, tamanho, posição relativa, etc.).

A saída y_1 permanece até o tempo no qual a entrada u_1 =“acionar o mouse no nó 30” produz a saída y_2 cuja situação é dada no lado direito da Figura 5.2, onde a janela 30 move-se para frente. Isto significa que para o estado x_1 e a entrada u_1 a função de saída δ conduz a saída y_2 (nota-se que a posição relativa das janelas mudou). Todavia, neste caso, quando a entrada u_1 foi aplicada no estado x_1 , a função de transição leva ao mesmo estado $x_1 = \{n_{20}, n_{30}\}$. Pode-se atingir o mesmo estado com uma saída diferente devido ao fato de que a função de saída depende da entrada e do estado ($\delta : UxX \rightarrow Y$).

De acordo com Pagano [133] dois problemas podem surgir na construção e interconexão de documentos em um hipertexto. O primeiro problema é assegurar que a unidade de informação seja observável, isto é, que se possa determiná-la pela observação do comportamento entrada/saída do sistema. O outro problema é assegurar que a unidade do sistema seja atingível, ou seja, acessível pelo usuário, dado seu estado inicial (ponto de partida do usuário na leitura do documento). Para que um estado x do hipertexto seja observável o usuário deverá navegar os estados de um hipertexto através do desenvolvimento de experimentos simples e perceber a transição de estado sobre o par entrada/saída. Um experimento simples poderia ser a entrada de um segmento de dados, através de qualquer dispositivo de entrada, e a observação da saída do segmento de dados, através de qualquer dispositivo de saída. Para dizer que todos os estados de um hipertexto são alcançáveis é necessário que o usuário seja capaz de navegar através de todos os estados do hipertexto. A solução é ter um nó mapa na implementação para oferecer uma visão geral do sistema.

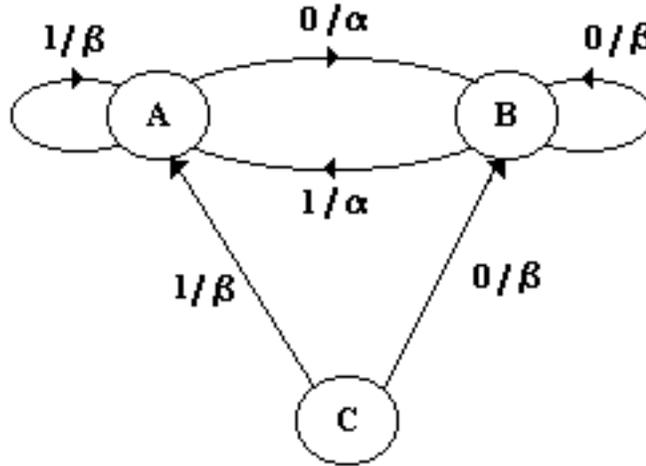


Figura 5.3: Representação de um hipertexto H

Exemplo 5.3.2 Considerar o hipertexto H representado na Figura 5.3 com o alfabeto de entrada $U = \{0, 1\}$, o alfabeto de saída $Y = \{\alpha, \beta\}$ e o conjunto de estados $X = \{x_1 = A, x_2 = B, x_3 = C\}$.

Se $x_0 = B$ é o estado inicial, não existe valor de entrada u para o qual partindo-se do estado $x_0 = B$, possa se atingir o estado $x_2 = C$. Então, diz-se que o estado x_2 é **inalcançável**. Também examinando-se o hipertexto H são encontrados estados não observáveis. Por exemplo, o estado $x_1 = A$ é não observável porque dado o par de entrada-saída ($u = 1, y = \beta$) não se sabe se o estado anterior era x_1 ou x_2 . Isto é, a entrada $u = 1$ no estado $x_1 = A$ conduz a saída $y = \beta$, a mesma saída é obtida para a entrada $u = 1$ no estado $x_2 = C$.

Estes conceitos são importantes no sentido de que, se dois hipertextos são equivalentes o usuário não pode fazer distinção entre eles, exceto em detalhes computacionais. Ao se conectar nós de informação, é desejável ter um conjunto mínimo de ligações para que todos os estados sejam alcançáveis e observáveis.

Este modelo de um sistema hipermídia como Autômata, conforme abordado por Almeida [5] pode ser aplicado na concepção de vários sistemas de Ensino, conforme será mostrado no Capítulo 6. O grafo de implementação muda conforme o ambiente a ser concebido, ou seja com o contexto.

Capítulo 6

Implementações de Hipertomatas

“Nam et ipsa scientia potestas est.”

(Knowledge is power)

Francis Bacon.

Este capítulo apresenta implementações desenvolvidas, seguindo o modelo Hipertomata (cujos conceitos introdutórios foram apresentados no Capítulo 5). A intenção é mostrar a potencialidade da formalização de sistemas em termos práticos. Além disso, é feita análise de oportunidades de um sistema de Ensino apontando o início de seu ciclo de vida.

6.1 Modelagem categórica: um novo caminho para um velho problema

A maioria dos desenvolvedores de sistemas hipertextos está mais preocupada com os recursos que a ferramenta de autoria oferece do que com a concepção do sistema. Um projeto mal feito pode destruir todo o esforço de enriquecimento da mídia. A existência de morfismos não monomórficos podem conduzir a erros de navegação.

Um exemplo, ilustra isso muito bem, quem já não se deparou com uma página na WWW, maravilhosa, seja de recursos visuais interessantes, e ... de repente ao acessar outra página não consegue mais retornar ao ponto que estava? Quem já não encontrou a mensagem de erro de “página não encontrada”?

Um hipertexto especificado corretamente, em princípio, permite a seu usuário ir e voltar para qualquer posição anterior. Isto quer dizer que todos os estados do hipertexto devem ser então alcançáveis [127], [126] a partir de outros estados. No

caso dos sistemas dedicados ao Ensino [68], os problemas de navegação podem trazer conseqüências tão desastrosas para o processo de aprendizagem quanto as produzidas num livro convencional com muitas páginas arrancadas. O computador deixa, neste caso, de ser uma ferramenta estimulante para tornar algo irritante e difícil de se lidar. A navegação é um problema prático de sistemas hipertextos. Não adianta a colocação de recursos atrativos, sons, filmes, animações (que certamente colaboram com o processo de Ensino-aprendizagem) [157],[105], [110] se estes recursos não forem mediados por uma concepção bem feita e coerente. Infelizmente, apesar de toda a explosão da rede mundial [167] e das aplicações que são desenvolvidas com as modernas ferramentas de autoria multimídia nota-se que não existe muita preocupação com a especificação formal destes sistemas. Uma tendência geral é a preocupação com tecnologias proprietárias [84], [96], problemas de segurança [34], problemas físicos de telecomunicações [53], [120], [148] do que com a Engenharia de Programas de Hipertextos.

Apesar da ampla divulgação de Sistemas de Ensino Virtual [33], [39], [135] [148] ou parcial [56] de aprendizagem via Web [47], [84], [120], [135], a autora desconhece, no Brasil, até o presente momento, tentativas de resolver os problemas na concepção destes tipos de sistemas através de métodos formais categóricos.

As melhorias encontradas são mais devidas a aplicação dos paradigmas educacionais [58], [75], [67], [82], [55], [111], [92], [119], [178] do que com os paradigmas construtivos. O que adianta preparar todo um sistema suportado pelas teorias educacionais se este sistema não funciona corretamente porque não foi bem concebido em termos computacionais?

A modelagem Hipertomata permite identificar, a priori, todos os problemas cruciais que possam existir na navegação em sistemas hipertexto e/ou hipermídia. A introdução da teoria das categorias visa simplificar ainda mais esta formalização para que as especificações sejam independentes do domínio e da própria tecnologia.

Para tentar contribuir com a resolução destes problemas, que inevitavelmente tomará grandes proporções devido às constantes mudanças tecnológicas [62], [73], [123], [169], é que se propõe neste trabalho a aplicação de tais métodos, que por serem formais poderão ser utilizados por qualquer Cientista da Computação.

6.2 Hipertexto x Ensino de RNA: a inspiração

Esta seção mostra a implementação de um ambiente de apoio ao Ensino de conceitos introdutórios de Redes Neurais Artificiais. Com a composição do conteúdo inspirada em notas de aulas e trabalhos científicos de professores e alunos do PGEEL e CPGCC da UFSC, tal tutorial foi utilizado como apoio acadêmico durante 4 anos. Seu

ciclo de vida terminou quando foi apresentada uma versão alternativa baseada na modelagem de hipermídia como autômato.

Organizou-se uma rede de relações entre as informações e criou-se os documentos que constituíram o conteúdo do hipertexto. Esta técnica de apresentação da informação tem um interesse pedagógico importante, na formação contextual na situação de trabalho conforme Pagano [133]. Todavia, a superposição de informação de forma não linear, os atrativos visuais, podem causar impactos mais importantes sobre o usuário em detrimento do próprio conteúdo. Outra consideração muito comum encontrada na literatura é a relacionada a perda do usuário no espaço de informações [140], [141]. A Figura 6.1 mostra uma tela do primeiro programa implementado.



Figura 6.1: Tela de um hipertexto simples

O programa foi atualizado de acordo com as críticas e sugestões solicitadas a seus usuários, que se dispuseram a avaliar e colaborar para sua melhoria. Atendendo às sugestões obtidas, a autora desenvolveu um protótipo para validar o objeto de estudo sua dissertação de Mestrado em Ciência da Computação [5]. A formalização deste protótipo foi baseada no modelo teórico de hipertexto como autômata que aqui é apresentado no Capítulo 5.

A Figura 6.2 mostra o grafo de implementação do sistema. As linhas pontilhadas mostram os arcos que ligam-se a outros nós (mostrados na ponta das setas). Os nós que possuem a mesma configuração e são funcionalmente iguais também foram omitidos. Por exemplo, os nós 2.2 e 4 foram omitidos porque são funcionalmente iguais ao nó 2. A descrição do grafo é sumarizada a seguir:

- nó apresentação - o nó 1 apresenta o ambiente e oferece informações gerais sobre a autoria, objetivos, navegação, recursos, endereço. Está ligado ao nó 2 que possui nó de detalhamento e retorno, a nó de recursos locais L_c e ao nó de recursos externos N_e . O estado inicial $x_0 = 1$. A entrada $u_1 =$ “acionar o nó 1”

conduz como saída y_1 que é a apresentação de uma página introdutória sobre o ambiente. E assim as transições de estado vão ocorrendo de acordo com o manuseio do ambiente pelo aprendiz.

- Mp - nó mapa - oferece um mapa completo do ambiente. Através do nó mapa todos os estados são alcançáveis. Este nó é muito importante para evitar que o aprendiz se confunda ou se perca no ambiente. Funcionalmente, acessar um nó mapa também pode ser comparado ao fato de “folhear um livro rapidamente para ver seu conteúdo do princípio ao fim”.
- 1, ... 8 - nós unidades. Nestes nós são apresentadas as unidades com os assuntos diversos sobre as RNA. No ambiente desenvolvido, tais unidades possuem ligações a nós de detalhamento, recursos internos e externos, entre outros. Em qualquer destes nós o aprendiz pode atingir nó de unidades e nós subtópicos através do nó mapa. Os nós de detalhamento não foram colocados no nó mapa para reduzir os recursos exigidos e oferecer um certo controle na navegação.
- 2.1, ..., 7.8 - nós tópicos e subtópicos. Os nós tópicos são uma extensão dos nós unidades. Os nós subtópicos contêm exercícios e ligações para os nós de simulação.
- A, ... , P - nós de detalhamento de tópicos e subtópicos. Caso o aprendiz deseje saber um pouco mais sobre determinado tópico, poderá acessar tais nós que contêm informações adicionais ou mesmo ligações para nós externos na rede com endereços de assunto relacionados na Web. Por exemplo, uma linha de tempo, no nó 2.1, possui ligações que levam aos nós A, ..., P, contendo informações sobre pioneiros no estudo das RNA. Por exemplo, o nó K oferece detalhes sobre a pessoa de Marvin Minsky na história da IA. Alguns destes nós podem se ligar a nós externos, como no caso de Minsky, para um nó contendo seus trabalhos no MIT.
- Dt - nó de detalhamento de unidade. O Dt oferece um detalhamento do nó 3. Possui ligação a nós externos da Web. Se o aprendiz quiser saber mais informações sobre as características gerais que não são relevantes ao assunto principal pode acionar o “mouse” para atingir tal nó e retornar através do nó de retorno Re.
- Bb - nó de bibliografia. Os nós de bibliografia oferecem a base bibliográfica utilizada nos assuntos abordados. Nota-se no grafo que estes nós estão ligados a todos os nós unidades 2 a 8.

- Gl - nó glossário. Como em um livro, se o aprendiz quiser saber o significado de alguma palavra considerada incomum ou própria da linguagem abordada, poderá acessar o nó Gl e retornar aos nós 2 a 8.
- Lc - nó local. Este nó contém recursos da rede interna do INE, isto é, no servidor, onde podem estar arquivos de dados, listas, acesso ao instrutor, horários de aulas, trabalhos, programas, páginas locais, entre outros.
- Rc - nó recursos. Este nó pode ser ligado a diversos nós, tais como arquivos disponíveis (interna ou externamente), nós para listas de discussões, correio eletrônico, painel de horários, informações do instrutor, que deverão ser incorporados de acordo com as necessidades observadas. O nó recursos liga-se ao nó mapa, ao nó recursos locais e nós externos.
- Mm - nó memória. O objetivo do nó memória é oferecer um mapeamento de nós visitados anteriormente. Uma opção de utilização deste nó pode ser a colocação de marcas (“bookmarks”) semelhantes aos livros, no qual o aprendiz pode deixar o sistema e quando voltar verificar onde estava. Este tipo de nó, assim como o nó mapa, é interessante como guia de navegação.
- Ne - nó externo para a Web. Permite ao aprendiz obter recursos disponíveis na Web com ligações para mecanismos de busca, bibliotecas virtuais, repositórios de artigos, programas acadêmicos e de domínio público (conectores, utilitários, etc.), simuladores, endereços de empresas de programas comerciais e tópicos relacionados.
- Pr - nó prática. O aprendiz pode praticar e testar seus conhecimentos através de exercícios (que contém nó erro). A prática envolve também a simulação. As práticas mais simples englobam opções a serem selecionadas por questões de simplicidade.
- Er - nó erro - Serve para verificação de resposta em exercício. Ao estudar conceitos no nó 5, se o aprendiz não acionar um nó opção de resposta definido no sistema, convencionado como resposta correta será retornado ao nó 5.
- Re - nó retorno simples. O aprendiz retorna ao nó anterior. Não possui memória. São geralmente feitos com ligações do botão de “voltar” ou com o próprio navegador. Sendo que este último parece ser mais interessante pois reduz os recursos computacionais oferecidos pela “cache” do navegador.
- Rm - nó retorno com memória. Armazena os caminhos percorridos e as ações executadas pelo aprendiz. Este tipo de nó oferece uma vantagem em relação

ao nó de retorno simples pelo fato de que pode agir como um “marcador de passos”.

- Sm - nó simulações. O aprendiz desenvolve simulações, após atingir o nó Pr ou ir diretamente do nó 6.1, que aborda os principais algoritmos de aprendizado das RNA.

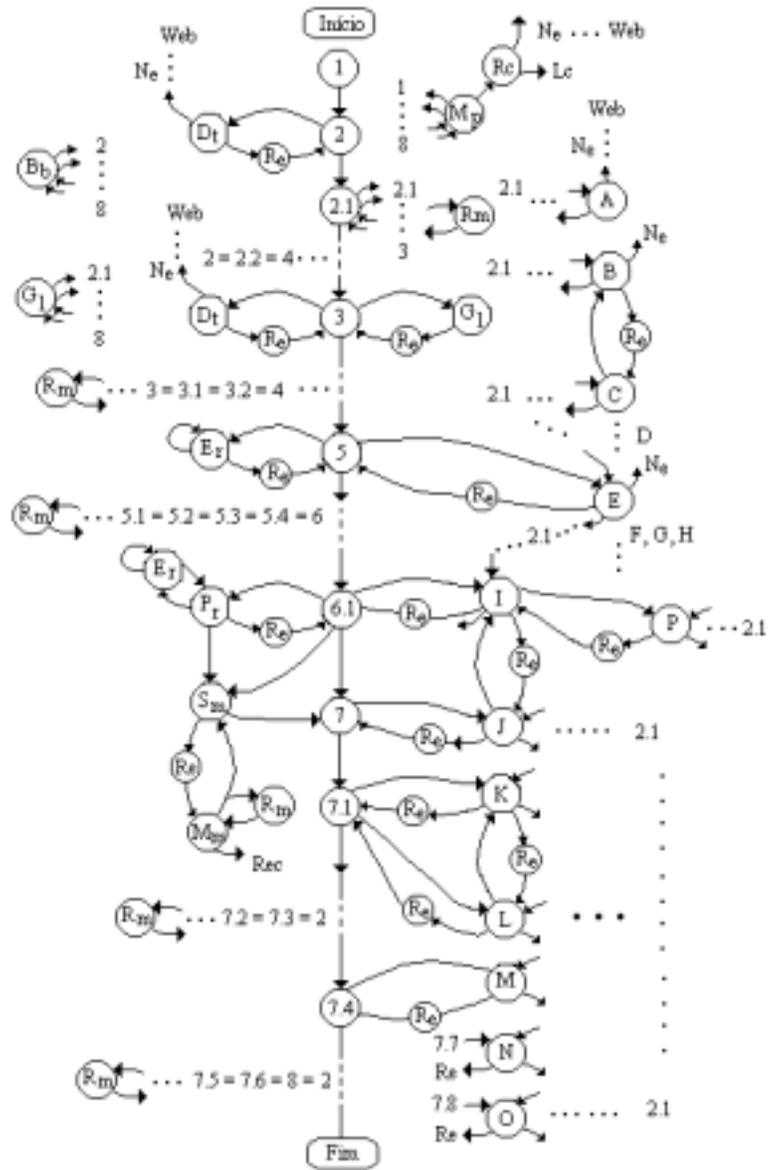


Figura 6.2: Grafo de um Hipertomata para Ensino de Redes Neurais

6.3 Mudança de contexto: Ensino de Computação para turmas reais

Conforme foi dito no Capítulo 1, a autora desenvolveu dois estágios nos quais foi desenvolvido um ambiente de apoio ao ensino destas disciplinas. Ao final do curso foi oferecido aos alunos um questionário para coleta de opiniões (denominado *opinionário*) para avaliação do ambiente, das preferências dos alunos e do processo de Ensino-aprendizagem.

O *opinionário* permite extrair uma tabela de comparação de ensino com o material clássico e de ensino com material não clássico. Um dos objetivos do *opinionário* é traçar o perfil do aluno para identificar suas preferências, além de identificar dados sobre o material apresentado. Ensino com computador envolve a concepção do software, conseqüentemente pode-se imaginar de seguir seu ciclo de vida. Geralmente, no ciclo de vida de um software se estuda inicialmente a análise de oportunidades, e em seguida a análise funcional, a análise orgânica, a manutenção e a morte. No *opinionário*, está sendo visto a análise de oportunidades [66], se o cliente (estudante) gosta do ensino com computador. E para detectar a personalidade do cliente para ver se ele gosta ou não de ter o computador como parceiro para ensinar, tem que se detectado o seu o âmago e não o que ele acredita. Assim foram feitas várias perguntas, algumas contraditórias colocadas de propositalmente para que um primeiro estudo possa ser feito.

6.4 Um ambiente de Ensino de Computação

Na primeira versão, o ambiente foi desenvolvido utilizando a linguagem HTML. Devido a limitação de recursos da Rede Intranet do Laboratório utilizado (problemas de conectividade, máquinas e programas obsoletos, etc.) a implementação contou com os requisitos mínimos desejáveis para um ambiente deste tipo. Entretanto, na sua especificação (simples por questões de ordem prática), todos os detalhes para se evitar estados inalcançáveis foram considerados.

Os alunos acessavam as notas de aulas de “Introdução à Computação” cujo conteúdo foram divididas da seguinte forma:

- Plano e Informações sobre a disciplina;
- Histórico sobre computação;
- Conceitos básicos sobre unidades funcionais do computador, algoritmos e programas, interpretadores, compiladores e tradutores, etapas de processamento

de programas, entre outros;

- Principais periféricos;
- Sistemas Operacionais;
- Paradigmas de programação;
- Redes de Computadores;
- Serviços da Internet;
- Tratamento de Texto;
- Planilhas;
- Programas de apresentação;
- Sistemas de Base de Dados;
- Sugestão de exercícios;

A Figura 6.3 mostra a tela principal do ambiente modelado cuja concepção foi formalizada utilizando o conceito de Hipermissão como Autômata.

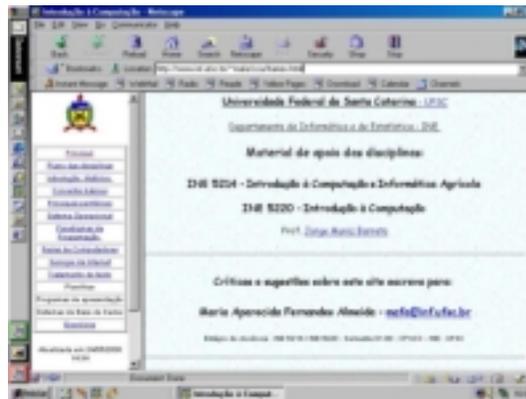


Figura 6.3: Tela de apresentação do ambiente

Esta disciplina é composta de alunos que não são da área de computação. Assim, os conceitos foram abordados de maneira informativa, direcionada mais as aplicações do computador do que no desenvolvimento de sistemas. O curso visa mostrar conceitos de maneira simples mas precisa para que os alunos possam utilizar o computador como uma ferramenta de auxílio ao desenvolvimento de tarefas nas suas áreas de conhecimentos independentemente da tecnologia. O problema da aceitabilidade de computador no Ensino será analisado posteriormente, na continuação deste trabalho.

Evitou-se que os conteúdos estivessem também atados a tecnologias proprietárias, mostrando alternativas de programas gratuitos que podem ser obtidos para o uso comum.

A Figura 6.4 mostra uma tela com um tópico de uma aula expositiva sobre *Paradigmas de Programação* que foi ministrada pelo Professor na aula teórica. A maioria das Notas de Aulas foram disponibilizadas, não estando o conteúdo preso a um livro-texto.



Figura 6.4: Tópico de uma aula expositiva disponível para acesso

Durante o período que estava ministrando as aulas e usava com os alunos o material disponível como guia das aulas práticas, a autora pode perceber as dificuldades, as preferências, através dos comentários que os mesmos faziam no momento que acessavam o material. O material teórico disponível para o acesso instantâneo auxiliava muito o processo de ensino nas aulas práticas. Os alunos gradativamente tiravam suas dúvidas abrindo, quando necessitavam, o tópico teórico em questão, quando no desenvolvimento de alguma atividade prática existia dúvida. Começaram a ficar mais independentes no decorrer do curso.

A Figura 6.5 ilustra um exemplo do acompanhamento de uma tarefa dada pelo professor para que os alunos pratiquem o envio de uma mensagem eletrônica utili-

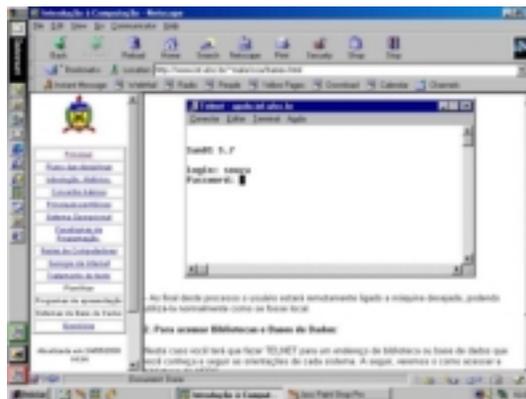


Figura 6.5: Acompanhamento de uma tarefa dada

zando a emulação de terminal. Neste caso, os alunos usaram o Telnet¹ para acessar sua conta no servidor do CCA e enviar uma mensagem utilizando o PINE². Simultaneamente, consultavam o material toda vez que tivessem dúvidas em passos da tarefa recorriam ao material disponível no ambiente.

Aqueles alunos que tinham dúvidas sobre o acesso, imediatamente consultavam a página e acionando o programa naquele momento, rapidamente desenvolveram a tarefa. Assim, toda vez que os alunos tinham dúvidas (que podiam ser esclarecidas pelo material) os mesmos acessavam (como se estivessem consultando um livro impresso), com a diferença de que o material estava disponível 24 horas gratuitamente na rede, poderia ser modificado pelo Professor quando necessário de forma a torná-lo mais claro. Além disso, podia ser visualizado em um janela lateral sempre que necessário.

6.5 Grafo de Implementação segundo o modelo Hipertomata

O sistema foi implementado segundo a modelagem de um sistema hipermídia como autômato [5], [128], [130], [129], [127], [126], [133] para ensino de IA. Uma primeira preocupação é a sobre a concepção do sistema. Um sistema de ensino hipertexto no qual todos os estados são alcançáveis e observáveis aumenta a eficiência do processo de ensino aprendizagem via computador, principalmente quando se usa sistemas de ensino na Internet. A concepção do sistema é simples pois o sistema é limitado pelas

¹Programa de emulação remota para Windows.

²Programa para correio eletrônico do UNIX

máquinas e pela rede acessadas pelos alunos. A Figura 6.6 no final deste capítulo mostra o grafo de implementação do sistema.

6.6 Análise de Oportunidades

Nesta seção são mostrados os resultados da análise de oportunidades [66] do ambiente descrito na seção 6.4 para Ensino de conceitos introdutórios de Computação no CCA. Para documentação da pesquisa, ao final da disciplina, os alunos responderam um questionário de opiniões (*Opinionário*) contendo cerca de 20 perguntas. A coleta destes dados foi feita em população de 41 alunos. As perguntas foram transcritas e alguns comentários serão feitos quanto aos resultados obtidos. Em relação às respostas foram colocados as porcentagens ao lado de cada uma para que haja uma melhor visualização.

A questão 1 visava saber se opinionário é aplicável ao aluno. A questão 2 procura identificar o nível do usuário (iniciante, médio ou avançado) e é complementada pelas perguntas 3, 4 e 5.

As perguntas da questão 5 visam identificar as preferências dos usuários quanto ao uso que fazem do computador. Algumas perguntas destinam-se a descobrir se o usuário possui conhecimentos mais técnicos, a nível de saber programar a máquina. Ressalta-se que ao iniciar a disciplina a maioria declara que já usavam o computador há mais de 2 anos. Entretanto, dividem-se em fazerem uso do computador de 10 a 15 dias no mês que pode ser considerado como uso constante. Quanto perguntados quanto ao tempo, a maioria diz que só usa menos de uma hora diariamente e pelas respostas de suas preferências no uso nota-se que a maioria utiliza o computador para navegar na Internet, enviar mensagens eletrônicas e digitar textos. Uma parcela significativa utiliza para entretenimentos.

A questão 6 pretende identificar o grau de iniciativa e independência do usuário ao lidar com a máquina encontra-se que as seqüências de ações mais tomadas são 1,3,2,4,5,6 e 1,2,3,4,5,6. O que faz acreditar que a maioria prefere inicialmente resolver o problema sozinho, em seguida pedir auxílio a alguém, recorrer ao manual, chamar a assistência técnica e somente no último caso abandonar o computador. Entretanto, outros se dividem em, no último caso, chamar a assistência técnica acreditando que é um problema técnico para depois abandonar o computador. Estas respostas podem ser contraditórias porque é de se esperar que somente após não conseguir (abandonar o computador) é que se chamaria a assistência técnica para corrigir o problema.

A questão 7 procura identificar usuários com conhecimentos avançados por ser bem específica da área da Computação. Como esperado, a maioria dos alunos (ape-

nas usuários do computador) foi sincera respondendo que “desconhece o termo ‘Von Neumann’”. Nota-se também que alguns foram sugeridos pela pergunta “um componente eletrônico do computador inventado por John von Neumann”. Somente uma pequena parcela respondeu “nenhuma das anteriores” (que seria a resposta correta) mas isto não garante que estas respostas sejam conscientes para que seja possível identificar o nível de conhecimento avançado entre vários desses alunos. Comparando os resultados da avaliação da disciplina e com a interação feita pela autora com os alunos, foi possível identificar somente um usuário avançado nesta população. O resultado satisfatório nesta questão é admitir que a maioria foi sincera e que o perfil geral não são de usuários avançados. Outra pergunta com a intenção de identificar o nível de conhecimento do usuário é a questão 8. A maioria dos alunos parece sincera quando marcam a opção “desconhecer o termo”. Entretanto a porcentagem daqueles que “supostamente” possuem conhecimentos avançados aumenta. Talvez isso possa ser explicado por não se tratar de pergunta tão específica visto que alguns conceitos básicos de programação foram abordados em sala de aula. Nesta questão, propositalmente, os alunos foram “induzidos” a respostas erradas como “a união de um programa a outro em forma de laço” e uma mensagem de erro que o computador emite quando ocorre um erro, fazendo com que o mesmo volte a seu estado anterior”. Ressalta-se que estas duas questões deveriam pertencer a um questionário inicial que deveria ter sido feito antes do início da disciplina. A autora pretende revisar o questionário para identificar seus erros e estruturá-lo de maneira que na análise dos dados obtidos, os mesmos possam ser mais significativos. Vários erros foram encontrados pela autora mas que somente foram identificados após esta primeira pesquisa inicial. Dentre eles a identificação de casos omissos (alunos que não responderam determinadas questões), opções menos específicas (colocação da opção “outros”) questões de difícil avaliação (caso das seqüências de ações da questão 6) e e principalmente a necessidade de um questionário inicial.

Na questão 9, sobre o uso de assistentes, nota-se que para o grau de independência “identificado” na questão 6 as respostas destas questões podem ser conflitantes. Entretanto, nota-se que o uso de assistentes é uma prática comum entre usuários mais avançados. O que na verdade não deveria ocorrer.

Na questão 10, a maioria parece unânime na utilização do computador como apoio educacional, entretanto existem os casos omissos.

Nota-se na questão 11, que a maioria apesar de responder na questão 11 (o ensino com computador numa disciplina é melhor do que o ensino sem computador), ainda prefere o livro convencional.

A questão 12 parece estar de acordo com o resultado esperado na modelagem do grafo de implementação do sistema, pois levou-se em consideração que todos

estados do hipertexto fossem alcançáveis. Também na sua implementação foi levado em consideração a limitação das máquinas utilizadas no laboratório. Entretanto, não puderam ser evitados os problemas oriundos da própria rede do CCA.

A questão 13 parece indicar uma contradição com a questão 11 na qual os alunos apontam preferências para o material impresso. Entretanto, isto pode indicar um desejo de um maior dinamismo na avaliação de seu próprio conhecimento, nas aulas, na exploração e fixação do conteúdo.

Na questão 14 a maioria respondeu que as ações de navegação auxiliam na fixação do conteúdo e que a utilização do computador torna este processo mais rápido e de forma mais atrativa. Isto pode indicar que uma melhoria no sistema e que uma das vantagens do hipertexto seria o auxílio na memória visual dos estudantes. Acredita-se que a inclusão de sons, imagens, animações, etc., poderia auxiliar muito este processo de retenção do conteúdo.

Na questão 15 a maioria discorda que seja um processo menos fatigante. Em parte isto também pode ser entendido como uma certa resistência dos alunos (principalmente de áreas que não sejam de computação) quanto as condições da aprendizagem (máquinas lentas e obsoletas, problemas de conectividade, etc.) dificultam o processo desmotivando o estudante.

Na questão 16 mais uma vez os alunos afirmam a preferência por material impresso como na questão 11 mas que entra em conflito com a questão 13 a qual aponta para a preferência de exercícios “on-line”.

Na questão 17 uma parte significativa dos estudantes afirma que gostaria de encontrar materiais semelhantes em outras disciplinas, assim como preferem a utilização do computador. Entretanto, isto é conflitante com a vontade dos mesmos de obter materiais impressos como abordado nas questões 11 e 16.

A questão 18 é semelhante a questão 12 e suas respostas estão coerentes com a mesma. Os problemas encontrados no material identificados por esta questão são os mesmos da questão 12, derivados do mal funcionamento da rede do CCA. Mais uma vez nota-se que a modelagem do grafo de implementação é importante para que não ocorram falhas construtivas no sistema.

Quando perguntados na questão 20, sobre o uso de um disco compacto (CD-ROM) contendo o material, a maioria concorda que o acesso seria mais fácil, econômico e cômodo. Dentre as justificativas mais encontradas nesta preferência citam-se:

- Alunos favoráveis ao uso do material em CD-ROM:
 - “... acesso ao material sem necessidade de Internet;
 - comodidade;

- *não haveria problemas de tempo de conexão, o material poderia ser acessado várias vezes;*
 - *dispensaria gastos com telefone/provedor ;*
 - *não estaria sujeito a flutuações da rede telefônica, páginas inacessíveis;*
 - *perderia menos tempo, teria página com acesso mais rápido;*
 - *Internet nem sempre funciona;*
 - *Além de evitar gasto telefônico é mais prático pois evita os pequenos transtornos que a Internet nos trás às vezes;*
 - *Desse modo os problemas diminuiriam;*
 - *Tendo o material em mãos não se necessita estar conectado o que diminui além de tempo de utilização também o gasto com a Internet;*
 - *Ter um CD-ROM facilita ao invés de ficar baixando aulas pela Internet;*
 - *Para fazer meu próprio estudo na hora que for conveniente;*
 - *Dispensaria a conexão e sua utilização é mais rápida;*
 - *Devido à rapidez obtida. Não corro o risco de ter linha ocupada ou lenta. Também porque existem pessoas que nem tem acesso à Internet;*
 - *É mais prático, rápido e interessante;*
 - *Mais rápido e acessível;*
 - *Passaria para outras pessoas;*
 - *Pela facilidade de acesso;*
 - *Menor custo com telefone, mais rápido o acesso;*
 - *Evitaria problemas de queda de conexão;*
 - *Rapidez no acesso às páginas;*
 - *O computador demora muito para abrir a página na Internet, com o CD-ROM seria mais rápido...”*
- Algumas respostas contrárias ao uso do material em CD-ROM:
 - *“... Seria muito complicado;*
 - *Não tenho computador;*
 - *Pode ser difícil usar;*
 - *Não tenho CD-ROM no computador;*
 - *Teria mais coisa para estudar;*

– *CD's são caros...*”

Na questão 20, os alunos fizeram comentários, críticas e sugestões. Dentre os principais comentários tem-se:

- *“... A forma como foi apresentado foi boa mas o problema é que tem muito conteúdo;*
- *A respeito do material disponível na Internet achei interessante, sendo que posso visualizar em casa, no trabalho, etc. No entanto, o material é muito extenso, poderia ser um pouco mais resumido e mais objetivo;*
- *Muito básico;*
- *O ensino com computador é muito cansativo;*
- *Faltou mais atividades práticas;*
- *Prático e interessante;*
- *Acho que o material está bom. Porém, é totalmente impossível estudar para a prova sem imprimir a matéria porque ninguém agüenta ficar lendo direto em frente da tela do computador que faz mal para os olhos;*
- *Que se façam mais tópicos e não assuntos longos. Creio que mais links agilizariam o processo;*
- *Deve começar desde o início para que o aluno se ache melhor dentro do sistema sem ficar por fora, deve ser mais organizado. Isto é, os tópicos foram dados na sala de aula estão em ordem diferente do que está no material;*
- *O material é bem escrito e apresentado. Em contrapartida, ainda não me acostumei a deixar de lado o lápis e o papel;*
- *O material é apresentado de forma acessível;*
- *Com certeza é uma forma de auxílio ao estudo obtido dentro da sala de aula mas não seria tão eficiente se fosse apresentado como único recurso para aprendizagem;*
- *Infelizmente, nem tudo dá para copiar e imprimir em casa;*
- *O material apresentado está de forma clara, porém as conexões que faço de casa por dia aumentam minha conta telefônica;*

- *O computador é um bicho de sete cabeças, não sei o que dizer;*
- *O material está bem apresentado, de fácil uso. No entanto, os exercícios poderiam ser realizados on-line...”*

Nestes comentários nota-se que embora a manipulação do material por problemas da máquina e rede foi satisfatória obedecendo a modelagem do grafo que garantiu todos estados alcançáveis.

Questões Opionário:

1. Você já utilizou o computador anteriormente ?
 - Sim - (95,12 %)
 - Não - (4,88 %)
2. Se sim, há quanto tempo utiliza o computador?
 - Menos de 6 meses - (5,13 %)
 - 1 ano - (17,95 %)
 - Mais de 2 anos - (76,92 %)
3. Atualmente, quantos dias num mês você utiliza o computador?
 - Menos de 5 dias (14,63 %)
 - De 10 a 15 dias (41,46 %)
 - Mais de 15 dias (43,90 %)
4. Quantas horas costuma utilizar o computador diariamente?
 - Menos de 1 hora (56,10 %)
 - 2 a 4 horas (34,15 %)
 - Mais de 4 horas (9,76 %)
5. Marque com um X as principais utilizações que faz do computador?
 - () Digitar textos. (75,61 %)
 - () Desenhar figuras ou manipular fotos. (24,39 %)
 - () Jogar. (56,10 %)

- Escutar música. (43,90 %)
 - Assistir filmes e clipes. (7,32 %)
 - Navegar na Internet (pesquisas, entretenimento, informações gerais). (95,12 %)
 - Ler e enviar mensagens eletrônicas. (75,61 %)
 - Usar programas de comunicação na Internet (“bate-papos”, conferências). (26,83 %)
 - Efetuar cálculos (planilhas, simulações, etc.). (26,83 %)
 - Aprender utilizar programas (educativos, de uso geral, etc.) (26,83 %)
 - Construir seus próprios programas. (2,44 %)
 - Outros (2,44 %)
6. Se estiver no Laboratório (fora do horário de aulas) ou em casa ou na empresa que trabalha e ao manipular o computador o mesmo paralisa, enviando uma mensagem de erro que julgue incapaz de compreender o que ocorreu, enumere as ações que geralmente toma em ordem crescente de prioridade para resolver tal problema.
- Tenta resolver sozinho.
 - Utiliza a “ajuda” do programa, caso seja possível.
 - Pergunta a alguém (amigo, colega, professor, etc.) que esteja perto dependendo do local onde você esteja.
 - Recorre a um livro ou manual do programa ou mesmo do computador.
 - Chama a assistência técnica ou um profissional da computação.
 - Se irrita, desiste e “abandona furiosamente” o computador.
7. O que você acha que significa na computação o termo “von Neumann”. Marque com X as opções que julgar mais provável:
- Um tipo de computador muito moderno. (0,00 %)
 - Um componente eletrônico do computador inventado por John von Neumann. (7,32 %)
 - O nome de um fabricante de computador. (2,44 %)
 - O nome de um inventor de um sistema operacional. (2,44 %)
 - Nenhuma das anteriores. (2,44 %)

- Desconhece o termo. (85,37%)
8. O termo “laço” num programa refere-se a:
- A união de um programa a outro em forma de “laço”. (5,00%)
- Um tipo de estrutura de controle utilizada na programação de computadores. (22,50%)
- Uma mensagem de erro que o computador emite quando ocorre um erro, fazendo com que o mesmo volte a seu estado anterior. (10,00%)
- Desconhece o termo. (62,50%)
9. Utiliza muito os “assistentes” que auxiliam em tarefas tais como: elaborar um currículo, escrever uma página para Internet, enviar um Fax, conectar a Internet, instalar programas, resolver problemas de configuração de programas no computador.
- Com freqüência (14,63%)
- Às vezes (19,51%)
- Raramente - (65,85%)
10. Você está cursando uma disciplina de fundamentos de computação. O material disponibilizado na rede é um apoio didático a esta disciplina. O computador também tem sido usado como coadjuvante no ensino geral. Você acha que o ensino com computador numa disciplina é melhor do que o ensino sem computador?
- Melhor ensino COM computador (90,24%)
- Melhor ensino SEM computador (7,32%)
- Omissos - (2,44%)
11. Você acha que seria melhor que o material apresentado em forma de hipertexto fosse apresentado na forma de um livro convencional? Note que num livro, uma rápida “folheada” permite visualizar a existência de figuras, a extensão do livro, etc. Assim, você tem uma noção da quantidade de material que tem pela frente, o que não acontece com o ensino com computador na forma de hipertexto.
- Sim (65,85%)
- Não (24,39%)

- () Omissos (9,76 %)
12. Muitas vezes, na navegação entre páginas de um hipertexto na rede são encontradas ligações e páginas inacessíveis. Ou seja, ao passar de uma ligação a outra ou mesmo entre páginas encontra-se alguma mensagem de “erro” ou de “página não encontrada”. Geralmente, estes erros podem ser oriundos de problemas na rede que podem tornar as páginas inacessíveis e outras vezes são causados pela má elaboração do hipertexto que conterà ligações erradas ou inexistentes. Você encontrou estes tipos de erros no material disponibilizado na Internet para auxílio a esta disciplina?
- () Diversas vezes (14,63 %)
- () Às vezes (24,39 %)
- () Raramente (14,63 %)
- () Nunca (46,34 %)
13. O que você acha mais interessante, fazer exercícios de múltipla escolha em material impresso ou utilizar páginas na Internet contendo exercícios (com opções de múltiplas escolhas). Supondo-se que nas páginas da Internet, ao final de cada exercício você saberá se escolheu a resposta certa ou não.
- Exercícios - material impresso (34,15 %)
 - Exercícios - material “on-line” via Internet (65,85 %)
14. Após utilizar o material apresentado na rede, você acha que o computador auxilia no processo de ensino? Marque as opções que considera pertinentes a esta questão.
- () O conteúdo é apresentado numa forma mais atrativa. (24,19 %)
- () A utilização do computador facilita o processo de aprendizagem porque o torna este processo mais rápido. (24,19 %)
- () As ações de navegação podem ser repetidas várias vezes até a fixação do conteúdo. (32,26 %)
- () O computador não deve servir de apoio a disciplinas pois é algo complicado de se manipular. (0,00 %)
- () Nunca utilizo o material para tirar dúvidas sobre algum conceito. (6,45 %)
- () Nenhuma das opções. (12,90 %)

15. Você acha que a aprendizagem por computador é mais conveniente pois quando se cansa de manipular o computador desliga-o e só retorna quando tem vontade. Acha que é então que este processo é menos fatigante?
- Sim (39,02 %)
 - Não (53,66 %)
 - Omissos (7,32 %)
16. Para aprender você prefere ler o material diretamente na tela do computador ou prefere imprimir o que está na tela no papel? Note que a utilização do computador você tem as facilidades das ligações do hipertexto.
- Ler diretamente na tela (31,71 %)
 - Imprimir o material para leitura (68,29 %)
17. Alguma vez, você quando procurava uma determinada informação em uma página, entrou em outra e não soube mais como retornar ao ponto anterior, ou perdeu-se no ponto em que estava e teve que iniciar toda navegação novamente?
- Sempre (2,44 %)
 - Às vezes (19,51 %)
 - Raramente (53,66 %)
 - Nunca (24,39 %)
18. Você gostaria de encontrar materiais semelhantes em outras disciplinas?
- Sim (78,05 %)
 - Não (21,95 %)
19. O acesso do material via rede (no laboratório ou através de uma conexão de acesso discado via modem conectado na linha telefônica) muitas vezes pode ser lento. A instalação das páginas localmente, no disco rígido do computador, eliminaria os problemas de lentidão e conectividade. Você acha que seria interessante ter um CD-ROM contendo o material, instalar num computador na sua casa ou escritório, para manipulá-lo a qualquer hora, independente das conexões da rede do laboratório ou de acesso discado? Por quê?
- Sim (73,17 %)
 - Não (26,83 %)

20. Faça e críticas e sugestões sobre a “forma” do material apresentado:

...

- Alunos que fizeram críticas (53,66 %)
- Omissos (46,34 %)

6.7 Análise de dados

A análise de dados será apresentada no trabalho final. Outros questionários serão posteriormente desenvolvidos.

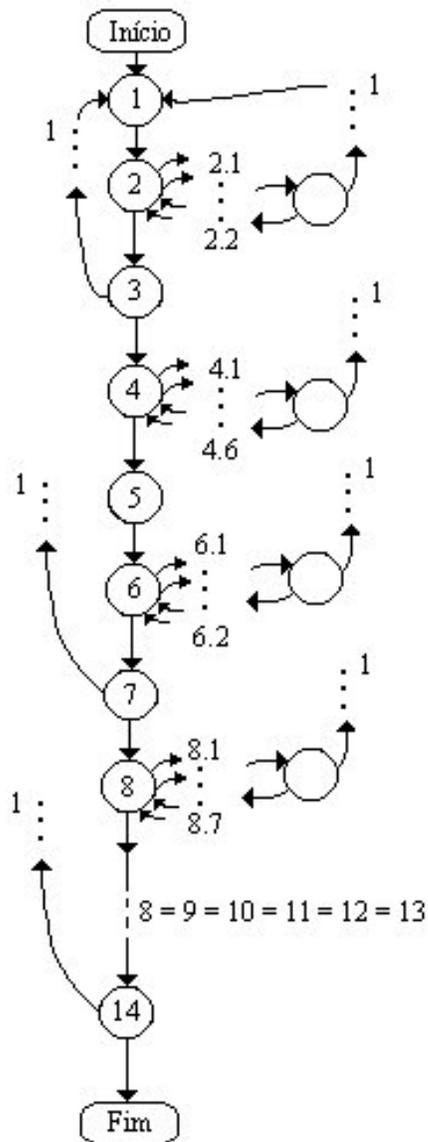


Figura 6.6: Grafo de Hipertomata para Ensino de Computação

Capítulo 7

Plano de Trabalho

*“We learn most when
We have to invent.”
Piaget.*

Almeida [5] desenvolveu um modelo de hipertexto como Auômata (ou simplesmente Hipertomata), aqui vai é apresentado este modelo como uma Categoria de Hipertomatas, que é um modelo mais geral e deverá ser explorado na segunda fase do doutorado. Em seguida tem-se a descrição do plano do trabalho proposto.

7.1 O Hipertomata e Categoria dos Hipertomata

Como foi visto no Capítulo 2, a Categoria dos Autômatas os objetos são Autômatas e os morfismos são os percursos (desde que satisfaçam as condições categóricas de existência de percurso identidade e composição associativa de percursos). No escopo deste trabalho, o Autômata é o modelo hipertexto, assim a analogamente define-se a Categoria dos Hipertextos como Automatas, onde os objetos serão os hipertextos como autômata e os candidatos a morfismos são os percursos pela existência de percurso identidade e composição associativa de percursos. Da mesma forma podem ser definida a Categoria dos Estados de Hipertexto como Autômata, no qual os objetos são estados e os morfismos é a dinâmica deste Hipertexto.

A escolha dos Hipertomatas e de suas categorias dependem do problema a ser tratado. O estudo proposto é abrir uma linha na identificação de morfismos que atendam a associação destes sistemas uma de maneira simplificada na concepção de ambientes de Ensino-aprendizagem. Como foi dito, a identificação de morfismos auxiliam na resolução de problemas de navegação. Pretende-se então que a principal

contribuição da tese seja abertura de caminhos para utilização de ferramenta formais que possam auxiliar o projeto destes sistemas.

7.2 Etapas

A execução do trabalho proposto requer o cumprimento das seguintes etapas:

1. Pesquisa Bibliográfica para continuidade do estudo comparativo entre as teorias de Aprendizado de Máquina com a inclusão de exemplos;
2. Complementar a pesquisa sobre as ferramentas formais para concepção de ambientes de ensino computadorizados;
3. Desenvolver a ferramenta de formalização e testar o modelo com a concepção de um protótipo, verificando os conceitos da Teoria das Categorias que sejam necessários;
4. Apontar alternativas da modelagem do sistema para melhoria da qualidade de programas de ensino com apresentação de resultados finais (observando o problema da aceitabilidade do computador)
5. Preparação de artigos científicos e defesa da tese.

Pretende-se que a principal contribuição da tese seja a construção de um ferramenta para especificação formal de ambientes computacionais de Ensino-aprendizado.

7.3 Cronograma

Pretende-se seguir o cronograma 7.1 com o objetivo de atingir os objetivos propostos neste trabalho, conforme as atividades enumeradas anteriormente. O documento final deverá estar pronto num período de 12 meses, a partir da data de validação deste exame de qualificação.

Atividades/mês	Fev./01	Mai/01	Julho/01	Dez./01	Fev./02
1	X	X			
2	X	X	X		
3		X	X	X	
4				X	X
5		X	X	X	X

Tabela 7.1: Cronograma

7.4 Recursos

Para o desenvolvimento deste trabalho serão necessários os seguintes recursos:

- Microcomputador ou estação de trabalho, conectado na rede;
- Ferramentas computacionais para o desenvolvimento do trabalho;
- Recursos bibliográficos;
- Impressora laser para impressão da cópia final da tese.

Estes recursos estão disponíveis no Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Catarina.

7.5 Parte a ser desenvolvida

Procurou-se até o presente momento fazer uma introdução ao problema do Ensino com Computador, que ainda será desenvolvido em grande parte após a apresentação do exame de qualificação. A maioria dos trabalhos realizados, enumerados na bibliografia, mostram o que já foi feito neste assunto mas não foram incluídos no texto porque em sua maioria dizem respeito a dissertação de Mestrado em Ciência da Computação [5]. Pretende-se fazer no doutorado uma extensão do mestrado abordando os seguintes pontos:

- Completar a coletânea sobre Máquinas de Ensinar que possui um histórico pouco documentado. Foi oferecido uma pequena introdução mas ainda há muito que organizar e escrever;
- Reconhecendo a importância dos sistemas hipertextos no Ensino e os problemas de navegação será apresentado um modelo teórico, atualmente em desenvolvimento, baseado na Teoria dos Autômatas e na Teoria das Categorias.

O resultado pretendido é associar morfismos das Categorias dos Automatos a percursos de hipertexto como ferramenta de formalização para modelar o perfil do aluno em ambientes de Ensino-aprendizagem. Estes percursos serão associados a comportamentos de alunos reais que utilizaram o programa para Ensinar “Introdução à Ciência da Computação” nos cursos do Centro de Ciências Agrárias. Uma nova versão será colocada brevemente no ar. Mais detalhes podem ser obtidos no seguinte endereço:

<http://www.inf.ufsc.br/~mafa/cca/frames.html>

- Construir, após sua especificação formal, um protótipo que possua características apontadas na análise de oportunidades (simulações, exercícios via rede, gerador de relatório de percursos visando o traçado do modelo intelectual do aluno). Adicionalmente, deverá ser feita uma análise da mudança de entrega do conteúdo com a produção de um CD-ROM;
- Estudar os quesitos da qualidade de programas educacionais incluindo o desenvolvimento de um capítulo levando em consideração os resultados obtidos;

A autora não sabe dizer se será possível dentro do contexto da tese, cujo tempo é limitado, desenvolver o que é proposto no plano de trabalho mas se esforçará para atingir a totalidade dos objetivos.

Capítulo 8

Epílogo

*“Professora, o computador é um bicho de sete cabeças,
ainda não sei o que dizer...”*

*Resposta de um aluno quando perguntei
sua opinião sobre o Ensino com computador.*

*(Laboratório de Informática do
Centro de Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Santa Catarina,
Dezembro de 2000.)*

Segundo Brofferio [39] definir, projetar e implementar um sistema de ensino envolve a resolução de três níveis de problemas inter-conectados: o nível tecnológico, o nível humano e organizacional e o nível econômico e legal. Neste caso, o hipertexto representou um grande passo no desenvolvimento dos computadores na educação. Inicialmente, o hipertexto não foi visto como um veículo adequado aos processos de Ensino-aprendizagem. Mas o poder de acesso a informação oferecido por tais sistemas favoreceu o projeto de ambientes de aprendizagem reativos e interativos, segundo Mayes [111]. Estes modelos procuravam sanar as dificuldades do diálogo dos sistemas com os estudantes. A hipermídia promoveu flexibilidade e aumentou o potencial destes sistemas. A rede mundial de computadores possibilitou um alto grau de interatividade com a manipulação direta dos conceitos através de uma grande base de dados de materiais de ensino hipermídia que podem ser disponibilizados.

Ensinar com o computador resume-se em desenvolver um programa. Normalmente, os programas educacionais não utilizam especificações formais. O desenvolvimento de programas é base da Engenharia de Programas. Os métodos formais aplicados na construção de programas têm a grande vantagem de poderem ser utili-

zadas por várias pessoas distintas sem grande variabilidade devido ao fato de serem formais. No Brasil são desconhecidas aplicações de métodos formais categóricos nos programas educacionais.

No desenvolvimento de um ambiente HiperMídia para Ensino-aprendizagem via rede, além dos aspectos psico-pedagógicos, da interface com o usuário, o programa necessita de especificação correta e precisa. Um ambiente de Ensino-aprendizado via rede de computadores especificado corretamente tem grandes chances de funcionar corretamente. Todavia, para o uso de Ensino via rede, algumas observações devem ser feitas em relação às estratégias de aprendizado. Para ensinar regras e manipulações de um determinado domínio, a apresentação virtual pode ser útil mas não pode ser exclusiva porque deve haver um “feedback” dos alunos. Além disso, as habilidades não podem ser ensinadas virtualmente. Para transmissão pura de conteúdos pode-se utilizar o aprendizado por decorar ou por ser contado, tendo-se menos esforço do que se fosse ensinado por descoberta. Por outro lado, para ensinar habilidades é mais adequado o aprendizado por descoberta ou então por analogia. Isto leva a conclusões interessantes em relação ao ensino virtual e não virtual. O Ensino virtual ou ensino à distância é muito bom para ensinar transmitir conhecimento utilizando a metodologia de ser contado ou de decorar. O ensino de manipular coisas deve ser um ensino que pode ser *auxiliado* por técnicas modernas de ensino à distância para dar exemplos e exercícios mas deve haver uma parte de contato pessoal para que estes exemplos possam ser eficazes e identificados à luz de erros cometidos. Já o ensino de habilidade (que conduz a mudança no comportamento) tem que ser feito por descoberta como por exemplo, como é o caso do ensino típico da pós-graduação. Na pós-graduação as disciplinas não são somente para transmissão de conteúdos mas para que o indivíduo tenha uma cultura geral e adquira habilidades junto com seu orientador (aprendizado por analogia) para que possa desenvolver suas pesquisas, seguir sozinho e posteriormente orientar pesquisas (aprendizado por descoberta) para transmissão e troca de conhecimentos com outros indivíduos. Cria-se então habilidades como escrever trabalhos científicos, direcionar linhas de pesquisas na vivência acadêmica diária, entre outras. As pós-graduações inteiramente virtuais desviam-se um pouco das tradicionais porque não são Construtivistas pois não considera as habilidades adquiridas pelos indivíduos contribuem para seu crescimento intelectual. Virtualmente pode se ter acesso à base de dados, à pesquisas, à livros eletrônicos e uma série de outros recursos mas para um pós-graduando aprender, mudando seu comportamento, crescendo intelectual e adquirindo habilidades só se consegue com a parte presencial, do dia a dia, na universidade (aprendizado por exemplos). Para que o ensino seja realmente dinâmico a participação do professor é fundamental, pois embora o computador auxilie a ampliação das capacidades intelectuais não pode

transmitir habilidades, conhecimento que só pode ser obtido presencialmente.

Em termos formais, este trabalho ressaltou, através da categorização de conceitos, que o problema da transmissão de conhecimentos pode ser atenuado com o uso de uma mídia mais rica. Não basta só a entrega de conteúdos por meio textual e o uso do computador pode sanar este problema pela possibilidade de inclusão de fala, música, sons, filmes, animações, etc. nos sistemas de ensino computadorizados. Com o uso do computador, o que se pretende é aumentar a eficiência do processo de ensino.

A evolução das máquinas mostram que as tentativas de aumento da rapidez, da eficiência do processo Ensino-aprendizado não é algo recente.

As implementações realizadas demonstram a potencialidade das ferramentas formais na concepção de ambientes de Ensino-aprendizagem computadorizados. Outras perspectivas para a continuidade deste trabalho poderão ser abordadas. É necessário ter uma teoria capaz de ter um vocabulário que permita trabalhar abstratamente com objetos. A Teoria das Categorias possibilita então que o o modelo Hipertomata como uma categoria seja uma ferramenta para especificação de programas com intuito de Ensino-aprendizagem.

As perspectivas futuras deste trabalho é a utilização de métodos formais categóricos para desenvolvimento de programas de ensino de um modo geral. Como é o primeiro trabalho nesta direção não se pretende alcançar a totalidade de pontos dos métodos formais mas pretende-se abrir um caminho novo.

Segundo o orientador pretende-se com esta tese abrir uma nova linha de pesquisa equivalente aquelas abertas pelo antigo Doutorado de Estado Francês pois não existe nenhuma aplicação de métodos formais na construção de programas educacionais no Brasil e isso é um campo enorme a ser explorado em trabalhos de mestrado e doutorados futuros.

Referências Bibliográficas

- [1] ADÁMEK, J. “Automata and Categories: finiteness against minimality”. In: *Mathematical Foundations of Compute Science*, Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, 1975.
- [2] AKHARAS, F. “From the Process of Instruction to the Process of Learning: Constructivist Implications for the Design of Intelligent Learning Environment”. URL: <http://www.cbl.leeds.ac.uk/~fabio/home.html>. Computer Based Learning Unit, University of Leeds, Leeds, England, 1996.
- [3] ALENCAR, E. *Teoria Elementar dos Conjuntos*. Livraria Nobel, 21 ed., 1990.
- [4] ALMEIDA, M. A. F. *Filtragem Digital de Sinais Biomédicos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica - UFSC, Florianópolis, fevereiro de 1997.
- [5] ALMEIDA, M. A. F. *Aprender, atividade inteligente: e se esta inteligência for parcialmente artificial?* Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Ciência da Computação - UFSC, Florianópolis, setembro de 1999.
- [6] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. “Ferramenta Computacional para Filtragem de Sinais Biomédicos”. In: *Anais da 49ª Reunião Anual da SBPC*, Belo Horizonte, julho de 1997, p. 49.
- [7] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. “Filtragem não causal de sinais de urofluxometria”. In: *Anais da 49ª Reunião Anual da SBPC*, Belo Horizonte, julho de 1997, p. 48–49. A3-005.
- [8] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. “Ambiente para Ensino do Projeto de Filtros Digitais no domínio do tempo: aplicação a sinais de eletrocardiografia”. In: *Anais do IV FNCTS - Fórum Nacional Ciência e Tecnologia em Saúde*, Curitiba, Paraná, outubro de 1998, p. 407–408. ISBN:85-7014-006-1.

- [9] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. “Filtragem Digital de Sinais Biomédicos”. In: *Caderno de Engenharia Biomédica*, vol. 14. Rio de Janeiro, Revista Brasileira de Engenharia - RBE, 1998. ISSN: 0102-2644 - Resumo de Teses.
- [10] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. “Filtragem não causal de sinais de urofluxometria”. In: *1er Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica*, Mazatlan, México, noviembre, 1998, p. 729–732. ISBN:968-5063-00-1.
- [11] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. “Apoio ao ensino de Redes Neurais Artificiais via computador”. In: *XXII Congreso Argentino de Bioingeniería - SABI99*, Universidade de Favaloro, Argentina, junho de 1999. (CD-ROM(101/3)-(10998-ARGENDISK)).
- [12] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. “Formação continuada por Simulação em Ambiente Virtual usando Redes de Computadores”. In: *Pesquisa Naval - Suplemento Especial da Revista Marítima Brasileira*, no. 12. Rio de Janeiro, Revista Marítima Brasileira, outubro de 1999. ISSN: 1414-8595.
- [13] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. “Implementação de um Sistema Hipermídia como Autômato para Ensino de Inteligência Artificial”. In: *Workshop de Teses e Dissertações em Informática em Educação do I Simpósio Catarinense de Computação*, Universidade do Vale do Itaja - UNIVALI, agosto de 2000. CD-ROM.
- [14] ALMEIDA, M. A. F. & BARRETO, J. M. “Modelagem de um Sistema Hipermídia como Autômato para Ensino de Inteligência Artificial”. In: *Anais do XX Congresso Nacional da Sociedade Brasileira de Computação - SBC 2000*, Campus da PUC-PR, Curitiba, julho de 2000, p. 1–8. CD-ROM - W021 -ISBN 85-7292-050-1.
- [15] ALMEIDA, M. A. F.; BARRETO, J. M. & CASTRO, A. C. R. “Non Causal filtering in urofluxometry”. In: *XVIII International Conference on Medical and Biological Engineering and XI International Conference on Medical Physics*, Nice, France, september, 1997, p. 549. F83-PS1.04.
- [16] ALMEIDA, M. A. F.; BARRETO, J. M. & LIMA, W. C. “Ensino de Filtragem Digital de Sinais Biomédicos Via Rede de Computadores”. In: *Primer Congreso Peruano de Ingeniería Biomédica - TUMI'99*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, setiembre, 1999, p. 45–47.
- [17] ALMEIDA, M. A. F.; BARRETO, J. M. & SANTOS, M. M. D. “Um ambiente Computacional para Ensino de Redes Neurais Artificiais”. In: *Anais da 51ª Reunião Anual da SBPC*, Porto Alegre, julho de 1999.

- [18] ALMEIDA, M. A. F.; BARRETO, S. Q.; CORRÊA, M. C. O. B. & SOUZA, L. L. “Aprendizado Cooperativo utilizando Construtivismo e Redes de Computadores no Ensino a Distância”. In: *Anais da 51ª Reunião Anual da SBPC*, Porto Alegre, julho de 1999.
- [19] ANTUNES, S. D.; BARRETO, J. M.; LEONARD, C. & MARCHAND, O. “PROFCOMP: Integrated Author System / Simulation Package”. In: *MELECON’89 (IEEE Mediteranean Electrotechnical Conference)*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 11-13/4 1989, p. 763–766.
- [20] APPLE. “Where Minds Meet”. *Apple European University Consortium*. Amsterdam, 1989.
- [21] ARBIB, M. A. *Handbook of Physiology - The Nervous System II*, cap. 33. Am. Phys. Soc., 1981.
- [22] ARBIB, M. A. & MANES, E. *Arrows, Structures, and Functions - The Categorical Imperative*. New York : Academic Press, Inc., 1975.
- [23] BARR, A. & FEIGENBAUM, E. *Handbook of Artificial Intelligence*, vol. 2, cap. 9. Califórnia, USA : Heuristech Press, 1982.
- [24] BARRETO, J. M. “The Role of Bond Graphs in Qualitative Modeling”. In: *12th IMACS World Congress on Scientific Computation*, Paris, July 1988, p. 84–87.
- [25] BARRETO, J. M. “Notas de aulas da disciplina Lógica Nebulosa”. Mestrado em Engenharia Elétrica - GPEB-UFSC, 1995.
- [26] BARRETO, J. M. “Notas de aulas da disciplina Modelagem e Simulação de Sistemas Físicos e Biológicos”. Mestrado em Engenharia Elétrica - GPEB-UFSC, 1995.
- [27] BARRETO, J. M. *Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI*. Florianópolis, SC : Duplic, 1ª ed., 1997.
- [28] BARRETO, J. M. “Introdução às Redes Neurais Artificiais”. In: *V Escola Regional de Informática da SBC Regional Sul*, Santa Maria, Florianópolis, Maringá, maio de 1997, p. 41–71.
- [29] BARRETO, J. M. *Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI*. Florianópolis, SC : Duplic, 2ª ed., 1999.
- [30] BARRETO, J. M. *Teoria da Computação*. Preprint, 2001.

- [31] BARRETO, J. M. & LEFÈVRE, J. “The Physiology of a simulation program”. In: *Anais do IV Encontro Nacional de Automática*, Florianópolis, julho 1983.
- [32] BARRETO, J. M.; NEYER, M. D.; LEFÈVRE, P. & GOREZ, R. “Qualitative Physics versus fuzzy Sets theory in Modeling and Control”. In: *IECON'91: IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation*, Kobe, Japão, outubro-novembro 1991, p. 1651–1656.
- [33] BARROS, L. A. & DA SILVA BORGES, M. R. “ARCOO - Sistema de Apoio à Aprendizagem Cooperativa Distribuída”. In: *VI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, Florianópolis, 1995, p. 88–100.
- [34] BARRY, D. & STANIENDA, T. “Solving the JAVA Storage Problem”. *IEEE Computer*, vol. 31, no. 11, November 1998.
- [35] BAUDEL, B. & CANTEGRIT, E. “Smalltalk and Simulation of Batch-processes”. In: *Artificial Intelligence, Expert Systems and Languages in Modeling and Simulation*, C. A. Kulikowski & G. A. Ferraté, Eds. North-Holland, Elsevier Science Publishers B. V., 1988.
- [36] BORDELEAU, P. “L’histoire des Technologies Informatiques et quelques-unes de leurs applications en éducation”. *Faculté des sciences de l’éducation*. v. 4.3, Université de Montréal, 1999.
- [37] BORDELEAU, P. “*Les développements technologiques: l’univers des environnements pédagogiques informatisés virtuels*”. Montréal : Éditions Logiques, 1^a ed., 1994.
- [38] BRENT, W. “*Reflections on Constructivism and Instructional Design*”, vol. 2, p. 12–21. Englewood Cliffs, NJ : Educational Technology Publications, 1997.
- [39] BROFERIO, S. C. A. “University Distance Lesson System”. *IEEE Transactions on Education*, vol. 41, no. 1, february, 1998.
- [40] BUCHANAN, B. G. “Brief History of Artificial Intelligence by Bruce Buchanan”. URL: <http://www.cs.pitt.edu/~peterson/html/bbhist.html>. University of Pittsburgh, 1998.
- [41] BÜRLE, G. “The role of qualitative reasoning in modeling”. In: *Artificial Intelligence, Expert Systems and Languages in Modeling and Simulation*, G. F. C. Kulikowsky, R. Huber, Ed. North Holland, 1988.
- [42] CAMERON, J. R. *Tutorial: JSP & JSD: The Jackson Approach to Software Development*.

- [43] CARBONELL, J. “AI in CAI-An Artificial Intelligence Approach to Computer Assisted Instruction”. *IEEE Transaction on Man-Machine Systems*, vol. 11, no. 1, 1998.
- [44] CARBONELL, J. G.; MICHALSKI, R. S. & MITCHELL, T. “An Overview of *Machine Learning*”, cap. 1, p. 3–23. Springer-Verlag, 1984.
- [45] CARDOSO, L. N.; ALMEIDA, M. A. F. & STEIN, M. G. F. “Tutorial hipertexto sobre o manuseio do livro didático”. In: *Anais da 5ª Reunião Especial da SBPC*, Blumenau, setembro de 1997, p. 207. B-6.024.
- [46] CARLSON, B.; BURGESS, A. & MILLER, C. “Timeline of Computing History”. URL: <http://www.computer.org/computer/timeline/>. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1996.
- [47] CHOU, C. “Construction of a Virtual Reality Learning Environment for teaching structural analysis”. In: *Computer Applications in Engineering Education*, M. F. Iskander, Ed., vol. 5. Wiley-Interscience, 1997.
- [48] CLANCEY, W. “*Transfer of rule-based expertise through a tutorial dialog*”. Tese de Doutorado, Computer Science Department, Stanford University, (STAN-CS-769), Stanford, 1979.
- [49] CLANCEY, W. “From GUIDON to NEOMYCIN and HERACLES in Twenty Short Lessons”. In: *Current Issues in Expert Systems*. London, Academic Press, A. van Lamsweerde and P. Dufour ed., 1987.
- [50] CLANCEY, W. “Intelligent Tutoring Systems: A Survey”. In: *Current Issues in Expert Systems*. London, Academic Press, A. van Lamsweerde and P. Dufour ed., 1987.
- [51] CLANCEY, W. *The role of qualitative models in instruction*, p. 49–68. London : Chapman and Hall, 1988.
- [52] CLANCEY, W. J. *Knowledge-Based Tutoring - The GUIDON Program*. Cambridge, Massachusetts : The MIT Press, 1987.
- [53] COSTELLA, A. *Comunicação - Do Grito ao Satélite*. São Paulo : Editora Mantiqueira, 1984.
- [54] DAYHOFF, J. E. *Neural Networks Architectures*. New York, USA : Van Nostrand Reinhold, 1992.

- [55] DE OLIVEIRA CAMARGO BRUNETTO, M. A. & GIRAFFA, L. M. M. “Modelando bases de conhecimento hipermídia utilizando mapas conceituais”. In: *Anais do XX Congresso da SBC*, Curitiba, Julho 2000, p. 97.
- [56] DEDEN, A. “Computers and Systemic Change in Higher Education”. *Communications of the ACM*, vol. 41, no. 1, january, 1998.
- [57] DIVERIO, T. A. & MENEZES, P. B. *Teoria da Computação - Máquinas Universais e Computabilidade*. Porto Alegre : Editora Sagra Luzzato, 1999.
- [58] DOPPKE, J. C. & HEIMBGNER, D. “Software Process Modeling and Execution within Virtual Environments”. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, vol. 7, no. 1, january 1998.
- [59] DOUKIDIS, G. I. “Using LISP for developing discret events simulations models”. In: *Artificial Intelligence, Expert Systems and Languages in Modelling and Simulation*, M. R. H. C. A. Kulikowski & G. A. Ferraté, Eds. North-Holland, Elsevier Science Publishers B. V., IMACS, 1988.
- [60] DRESCHER, G. “Genetic AI - Translating Piaget into LISP”. Relatório Técnico. 890, Massachusetts Institute of Technology - Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts, USA, February, 1986. AI-MEMO.
- [61] DUMM, T. “An Introduction to the Science of Artificial Intelligence by Tim Dumm”. URL: <http://tqd.advanced.org/2705/index.html>. 1997.
- [62] EL-REWINI, H. & MULDER, M. C. “Keeping Pace with an Information Society”. *IEEE Computer Innovative technology for computer professionals*, vol. 30, no. 11, November, 1997.
- [63] FERNANDES, C. T. & SANTOS, N. “Pesquisa e Desenvolvimento em Informática na Educação no Brasil - Parte I”. *Revista Brasileira de Informática na Educação - RBIE*, no. 4, abril de 1999.
- [64] FERNANDES, C. T. & SANTOS, N. “Pesquisa e Desenvolvimento em Informática na Educação no Brasil - Parte II”. *Revista Brasileira de Informática na Educação - RBIE*, no. 5, julho de 1999.
- [65] FERREIRA, A. B. H. *Novo Dicionário Aurélio Século XXI*. Nova Fronteira, 2000.
- [66] FINLAY, J. *Software Personalization*, p. 1240–1241. New York : Van Nostrand Reinhold, 1993.

- [67] FISHWICK, P. A. “Web-Based Simulation: Some Personal Observations”. *1996 Winter Simulation Conference*, no. 1, december, 1996.
- [68] FLEISCHHAUER, L. I. A.; BARBOSA, A. C. G.; VAVASSORI, F. B. & GAUTHIER, F. A. O. “A experiência de Criação de um Curso através de Software de Autoração de Multimídia: Uma Introdução”. In: *ANAIS do III Congresso Argentino de Ciência de la Computacion (CACIC)*, La Plata, Argentina, 1997, vol. 2, p. 812–821.
- [69] FODOR, J. A. *Concepts where Cognitive Science went wrong*. New York : Clarendon Press - Oxford, 1998.
- [70] FOGEL, D. B. “Genetic Algorithms”. *Scientific American*, no. 267, July, 1992.
- [71] FOGEL, D. B. *Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence*. IEEE Press, 1995.
- [72] FORBUS, K. Qualitative process theory. *Artificial Intelligence*, vol. 24, no., 1984.
- [73] FORESTER, T. & MORRISON, P. *Computer Ethics*. Massachusetts : The MIT Press, 3^a ed., 1995.
- [74] FREEMAN, J. A. & SKAPURA, D. M. *Neural Networks: algorithms, applications, and programming techniques*. USA : Adisson-Wesley Publishing Company, Inc., 1992.
- [75] FREIRE, P. *Educação como prática da liberdade*. Rio de Janeiro, RJ : Editora Paz e Terra, 1986.
- [76] FRIEDMAN, N. & HAFNER, C. “The State of the Art in Ontology Design: A survey and Comparative Review”. *AI Magazine*, vol. 18, no. 3, 1997.
- [77] FUTTO, I. H. “AI and Simulation Prolog basis”. In: *Artificial Intelligence, Expert Systems and Languages in Modelling and Simulation, IMACS*, C. A. Kulikowoski & G. A. Ferraté, Eds. North-Holland, Elsevier Science Publishers B. V., 1988.
- [78] GALLANT, S. “Connectionist Expert Systems”. *Communications of the ACM*, vol. 31, no. 2, 1988.
- [79] GALLANT, S. I. *Neural network learning and expert systems*. Cambridge, Massachusetts : MIT press, 1993.

- [80] GIL, S. Q.; SOUZA, L.; FIALHO, F. P. & ALMEIDA, M. A. F. “A vida pede licença para entrar na Escola”. In: *Anais da 49ª Reunião Anual da SBPC*, Belo Horizonte, julho de 1997. B-6.192.
- [81] GOLDEN, R. M. *Mathematical Methods for Neural Network Analysis and Design*. Massachusetts : The MIT Press, 1996.
- [82] GOODWING, N. C. “Funcionalidade and Usability”. *Communications of the ACM*, vol. 30, no. 3, march, 1987.
- [83] GORDON, P. “The self-organising teacher”. In: *Automated Teaching Bulletin*, vol. 1. The Rheem-Califone Corp., December 1959.
- [84] HARGER, R. O. “Introducing DSP with an Eletronic Book in Computer Classroom”. *IEEE Transactions on Education*, vol. 39, no. 2, may, 1996.
- [85] HEBB, D. *Psicologia*. São Paulo : Livraria Atheneu, 2ª ed., 1979.
- [86] HERGENHAHN, B. R. *An Introduction to Theories of Learning*. Englewood Cliffs, N. J. : Prentice-Hall, Inc., 1982.
- [87] HOLLAND, J. H. *Adaptation in natural and artificial systems*. Ann Arbor, MI : The University of Michigan Press, 1981.
- [88] IBM. “The Aglet Workbench”. [http : //www.trl.ibm.co.jp/aglets](http://www.trl.ibm.co.jp/aglets), 1999.
- [89] IWASAKI, Y. & SIMON, H. A. “Causality in device Behavior”. *Artificial Intelligence*, vol. 29, no. 1, 1986.
- [90] IWASAKI, Y. & SIMON, H. A. “Theories of Causal Ordering: reply”. *Artificial Intelligence*, vol. 29, no. 1, 1986.
- [91] JACKSON, M. A. *Construtive Methods of Program*, cap. 2, p. 67–99. A Monograph in The Computer Society Press. IEEE Computer Society, 1976. Reprints.
- [92] JOHANSSON, M.; GÄFVERT, M. & ASTRÖM, K. J. “Interactive Tools for Education in Automatic Control”. *IEEE Control System - Interactive Learning*, vol. 18, no. 3, june, 1998.
- [93] KAPLAN, E. “History of Calculating Machines - Introduction”. URL: [http : //www.webcom.com/calc/](http://www.webcom.com/calc/). 1996.
- [94] KAPLAN, R. & ROCK, D. “New directions for intelligent tutoring”. *Artificial Intelligence Expert*, vol. 5, no. 2, february, 1995.

- [95] KASABOV, N. K. *Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowledge engineering*. Massachusetts, USA : The MIT Press, 1996.
- [96] KINIRY, J. & ZIMMERMANN, D. “A hands-on look at Java Mobile agents”. *IEEE - The Internet Computing*, vol. 1, no. 4, August 1999.
- [97] KLEER, J. D. How circuit work. “*Artificial Intelligence*”, vol. 24, no., 1984.
- [98] KLEER, J. D. & BROWN, J. “A qualitative physics based on confluences”. *Artificial Intelligence*, no. 24, 1984.
- [99] KRÖSE, B. J. A. & VAN DER SMAGT, P. P. *An Introduction to Neural Networks*. University of Amsterdam, 5^a ed., January, 1993.
- [100] KUIPERS, B. “Commonsense Resoning About Casuality: Deriving Behavior from Structure”. *Artificial Intelligence*, vol. 24, no., 1984.
- [101] KUIPERS, B. “Qualitative Simulation”. *Artificial Intelligence*, vol. 29, no., 1986.
- [102] LAMBEK, J. & SCOTT, P. J. *Introduction to higher order categorical logic*. Cambridge : Cambridge University Press, 1986. Cambridge Studies in Advanced Mathematics 7.
- [103] LEFÈVRE, J. & BARRETO, J. M. “Didatic microcomputer simulation in cardiac dynamics”. In: *5 th Annual Conference on Frontiers of Engineering in Health Care (IEEE)*, Columbus, Ohio, EUA, 1983. Resumo no IEEE Trans. Biomedical Engineering, v. BME-3,0 p. 512.
- [104] LINDEN, E. “O que os animais realmente pensam?”. In: *Revista Seleções*, C. Kierchel, Ed. Reader’s Digest Brasil Ltda., Fevereiro 2001.
- [105] MAHAJAN, R. & SHNEIDERMAN, M. “Visual and Textual Consistency Checking Tools for Graphical User Interfaces”. *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 23, no. 11, 1997.
- [106] MAMROUD, Y. “Artificial Intelligence - History, Philosophy and Practice”. URL: <http://royce-ap.com/ai/links.html>. Philosophy Department, Tel Aviv University, 1999.
- [107] MARC DE NEYER; GOREZ, R. & BARRETO, J. M. “Disturbance Rejection Based on Fuzzy Models”. In: “*Decision Support Systems and Qualitative Reasoning*”, M. G. S. e L. Travé-Messuyès, Ed. Amsterdam, North- Holand, 13-15/03 1991.

- [108] MARTINS, R. C. B. “Lógica de Primeira Ordem e Desenvolvimento de Softwares”. Relatório técnico ccr-081, IBM Brasil - Centro Científico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, outubro 1989.
- [109] MARTINS, R. C. B. & MOURA, A. *Desenvolvimento Sistemático de Sistemas Corretos: A Abordagem Denotacional*. Campinas : VI Escola de Computação, 1989.
- [110] MAULSBY, D. & WITTEN, I. H. “Teaching Agents to Learn: From User Study to Implementation”. *Computer*, vol. 30, no. 11, 1997.
- [111] MAYES, J. T. *Cognitive Tools: a suitable case for learning*. Heidelberg : Springer-Verlag, 1992.
- [112] MCCARTHY, J. “A proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence - John McCarthy, August, 1955”. URL: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>. 1996.
- [113] MCCULLOCH, W. S. *Embodiments of Mind*. Cambridge, Massachussets : The MIT Press, 1989.
- [114] MCCULLOCH, W. S. & PITTS, W. H. “A logical calculus of ideas immanent in nervous activity”. *Bull. of Mathematical Biophysics*, no. 5, 1943.
- [115] MEDLER, D. A. “A Brief History of Connectionism”. URL: http://www.icsi.berkeley.edu/~jagota/NCS/VOL1/P3_html/vol1_3.html. 1999.
- [116] MENEZES, P. B. *Linguagens Formais e Automatas*. Porto Alegre : Editora Sagra Luzzato, 2000.
- [117] MINSKY, M. L. & PAPERT, S. A. *Perceptrons: an introduction to computational geometry*. Massachussets : The MIT Press, 1969.
- [118] MINSKY, M. L. & PAPERT, S. A. *Perceptrons: an introduction to computational geometry*. Massachussets : The MIT Press, 3ª ed., 1988. Impressão modificada do original de 1969.
- [119] MOUSSALLE, N. M.; VICCARI, R. M. & CORREA, M. *Intelligent Tutoring Systems modelled through the mental states*, cap. 3. Advances in Artificial Intelligence, 1996.

- [120] NADEAU, D. R. “Building Virtual Worlds with VRML”. In: *IEEE Computers Graphics and Applications*, J. J. Thomas, Ed., vol. 19. Los Alamitos, CA, USA, IEEE Computer Society, April 1999.
- [121] NEWELL, A. & SIMON, H. “The Logic Theory Machine”. *IRE Transactions on Information Theory*, vol. IT-2, no. 3, 1956.
- [122] NEWELL, A. & SIMON, H. “GPS a program that simulates human thought”. In: *Computers and thought*, E. Feigenboum & J. Feldman, Eds. Ney York, Academic Press, 1963.
- [123] NICOLACI-DA COSTA, A. M. *Na malha da Rede - Os impactos íntimos da Internet*. Rio de Janeiro : Editora Campus, 1998.
- [124] NIEVOLA, J. C. *Sistema Inteligente para Auxílio ao Ensino em Traumatologia Crânio-Encefálica*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1995.
- [125] NILSSON, N. J. “Artificial Intelligence: A New Synthesis”. URL: <http://www.cs.utu.fi/knuutila/courses/ai/98/>.1998.
- [126] PAGANO, R. & BARRETO, J. M. “Hypermedia Supporting a Psychodramatic Experience: a case study”. In: *Proceedings of 8th ICTE'91 - The Eighth International Conference on Technology and Education*.
- [127] PAGANO, R. & BARRETO, J. M. “Hypertext Information Technology in Medical Education”. In: *Proceedings of 6th Mediterranean Electrotechnical Conference - IEEE-MELECON'91*.
- [128] PAGANO, R. & BARRETO, J. M. “Laboratory experiment simulation in electrical engineering education”. In: *Proceedings of ESC'89 - 3rd European Simulation Congress*, Edinburgh, September , 1989, p. 311–317.
- [129] PAGANO, R. & BARRETO, J. M. “A theoretical model of hipertext”. In: *Proceedings of AINN'90 - International Conference of Artificial Intelligence Applications and Neural Networks*, Zurich, 1990, Acta Press, M.H. Hanza Edition, p. 10–15.
- [130] PAGANO, R. & BARRETO, J. M. “Psychodrame pédagogique et hypermédia”. In: *Proceedings of Sixième Congrès APTLF*, Brussels, May , 1990.
- [131] PAGANO, R. & BARRETO, J. M. “Computer Simulation + Information Technology: Good tools for classroom Work?”. In: *9th International Conference on Technology and Education - ICTE'92*, Paris, 1992, vol. 3, p. 16–20.

- [132] PAGANO, R.; LEBACQ, J. & BARRETO, J. M. “Field testing SIMED: Evaluation of a Framework to Create Classroom Experiments in Physiology”. *Archives Internationales de Physiologie et de Biochimie*, vol. 100, no. 5, 1992.
- [133] PAGANO, R. L. *Computer Simulation as an educational tool*. Tese de Doutorado, Faculty of Applied Sciences, University of Louvain la Neuve, Belgium, 1992.
- [134] PALINSCAR, A. S. & BROWN, A. L. “Reciprocal teaching of comprehension fostering and comprehension-monitoring activities”. *Cognition and Instruction*, vol. 1, no., 1984.
- [135] PANTELIDIS, V. S. “Virtual Reality and Engineering Education”. In: *Computer Applications in Engineering Education*, M. F. Iskander, Ed., vol. 5. Wiley-Interscience, 1997.
- [136] PAPERT, S. *A máquina das crianças: repensando a Escola na era da Informática*. Porto Alegre, RS : Artes Médicas, 1994.
- [137] PIAGET, J. *A construção do real na criança*. Rio de Janeiro : Zahar Editores, 1963.
- [138] PIAGET, J. *O julgamento moral na criança*. São Paulo : Editora Mestre Jou, 1977.
- [139] PIAGET, J. *The Equilibrium of Cognitive Structures: The Central Problem in Cognitive Development*. Chicago, Illinois : University of Chicago Press, 1985.
- [140] PILKINGTON, R. & GRIERSON, A. “Generating Explanations in a Simulation-Based Learning Environment”. *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 45, no., 1996.
- [141] PILKINGTON, R. & PARKER-JONES, C. “Interacting With Computer-Based Simulation: The Role Of Dialogue in Computer Based Learning Unit”. LS2 9JT, University of Leeds, Leeds, England, 1996.
- [142] PYLYSHYN, Z. *Computation and Cognition: Toward a Foundation for Cognitive Science*. Cambridge, MA : MIT Press, 1985.
- [143] PYLYSHYN, Z. W. *Computation and Cognition: Toward a Foundation for Cognitive Science*. Cambridge, Massachusetts : A Bradford Book, The MIT Press, sec. ed., 1989.

- [144] RAMIREZ POZO, A. T. *Um Sistema de Ensino Inteligente via Sociedade de Multi-agentes aplicado ao diagnóstico de Epilepsia*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1996.
- [145] RAMOS, E. M. F. *Análise ergonômica do sistema hiperNet buscando o aprendizado da cooperação e da autonomia*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1996.
- [146] RAPAPORT, W. J. "Cognitive Science". In: *Encyclopedia of Computer Science Third Edition*. Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [147] RAUGHUNATHAN, S. "Qualitative Reasoning About Approximations in Quantitative Modeling". *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, vol. 27, no. 5, september, 1997.
- [148] REZABEK, L. L. "Distance Education and Telecommunications technologies: lessons for educators". In: *The Ninth International Conference on Technology and Education*, March 1992, N. Estes & M. Thomas, Eds., vol. 3.
- [149] RICH, E. & KNIGHT, K. *Inteligência Artificial*. São Paulo : Makron Books, 2ª ed., 1994.
- [150] ROSENBLATT, F. "The Perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain". *Psychological Review*, no. 65, 1958.
- [151] ROSNAY, J. "History of Cybernetics and Systems Science". URL: <http://pespmc1.vub.ac.be/CYBSHIST.html>. 1996.
- [152] RUSSEL, S. J. & NORVIG, P. *Artificial Intelligence: a modern approach*. London, UK : Prentice Hall, 1ª ed., 1995.
- [153] SALLES, P. E. A. "Deriving Explanations from Qualitative Models". In: *Proceedings of the 8th World Conference on Artificial Intelligence in Education*, Japan, august, 1997, p. 474-481.
- [154] SCARDAMALIA, M.; BEREITER, C. & STEINBACH, R. "Teachability of reflective processes in written composition". *Cognitive Science*, vol. 8, no., 1984.
- [155] SHANNON, C. E. & MCCARTHY, J. *Automata Studies*. New Jersey : Princeton University Press, 1956.

- [156] SHAPIRO, S. Artificial intelligence. In: *Encyclopedia of Artificial Intelligence*. New York, John Willey & Sons, 1991.
- [157] SHERRY, L. & MORSE, R. “An Assessment of Training Needs in the Use of Distance Education for Instruction”. *International Journal of Educational Telecommunications*, vol. 1, no. 1, 1995.
- [158] SHORTLIFFE, E. H. *MYCIN: a rule-based computer program for advising physicians regarding antimicrobial therapy selection*. Tese de Doutorado, Stanford University, California, 1974.
- [159] SHORTLIFFE, E. H. *Computer based medical consultation: MYCIN*. New York : American Elsevier, 1976.
- [160] SIMON, H. A. *Why Would Machines Learn?*, cap. 2, p. 25–36. Springer-Verlag, 1984.
- [161] SINGH, M. P. & HUHNS, M. N. “Internet-based Agents: applications and infrastructure”. *The Internet Computing*, vol. 1, no. 4, August 1997.
- [162] SKINNER, B. F. *Science and human behavior*. New York : The Macmillan Company, 1953.
- [163] SKINNER, B. F. “Teaching Machines”. *Science*, no. 128, 1958.
- [164] SOWA, J. F. *Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine*. New York, USA : Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1984.
- [165] STEVENS, A. & COLLINS, A. “The goal structure of a socratic tutor”. Relatório Técnico. 3518, Bold Beranek and Newman, Cambridge, Massachusetts, 1977.
- [166] SUPPES, P.; JERMAN, M. & BRIAN, D. *Computer-Assisted Instruction: Stanford’s 1965-66 Arithmetic Program*. New York : Academic Press, 1968.
- [167] TANENBAUM, A. S. *Redes de Computadores*. Editora Campus, 2^a ed., 1994.
- [168] TARBY, J. C. “The Human-Computer Dialogue in Learning Environments”. *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 5, no. 1, february, 1997.
- [169] TOYNBEE, A. *A Sociedade do Futuro*. Rio de Janeiro : Zahar Editores, 1974.
- [170] TRNKOVÁ, V. “Automata and Categories”. In: *Mathematical Foundations of Compute Science*, Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, 1975.

- [171] TWIGGER, D. E. A. “The conceptual change in science project”. *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 7, no., 1991.
- [172] ULBRICHT, V. R. *Modelagem Cognitiva em Concepção do Módulo de avaliação do Estudante de um Sistema de Ensino Inteligente Auxiliado por Computador para a Geometria Descritiva*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 1992.
- [173] ULBRICHT, V. R. *Modelagem de um ambiente hipermídia de construção do conhecimento em Geometria Descritiva*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1997.
- [174] ULBRICHT, V. R. “VISUAL GD: Ambiente Hipermídia para Geometria Descritiva”. *Revista Graf & Tec*, vol. 2, no. 1, julho 1997.
- [175] VANGHELUWE, H.; BARRETO, J. M. & VANSTEENKISTE, G. C. *Application of a Multifaceted Modelling Methodology: An Example in Physiology*, p. 233–238. IMACS, 1991.
- [176] VETTER, R. & SEVERANCE, C. “Web-based Education Experiences”. *IEEE-Computer*, vol. 30, no. 11, November 1997. Edição especial: The Changing Face of Education.
- [177] VON STAA, A. *Engenharia de Programas*. Rio de Janeiro : LTC - Livros Técnicos Científicos Editora S. A., 1983.
- [178] WATERS, C. “The programmer’s apprentice project: A research overview”. Relatório Técnico. 1004, Massachusetts Institute of Technology - Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts, USA, November 1987. AI-MEMO.
- [179] WAZLAWICK, R. S. *Um Modelo Operatório para Construção de Conhecimento*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1993.
- [180] WIENER, N. *Cibernética e Sociedade*. Ed. Cultrix, 1954.
- [181] WILSON, J. R. “Como e o que Aprendemos?”. In: *A Mente*. Rio de Janeiro, Livraria José Olympio Editora, 1976.
- [182] WILSON, J. R. “Máquinas para enfrentar a crise”. In: *A Mente*. Rio de Janeiro, Livraria José Olympio Editora, 1976.

- [183] WINOGRAD, T. “What does it mean to understand language? In: *Perspectives on Cognitive Science*. Norwood, NJ, Ablex Publishing, 1981.
- [184] WINSTON, P. *Inteligência Artificial*. São Paulo : LTC, 1981.