

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM: UMA ABORDAGEM QUALITATIVA BASEADA  
EM MAPAS CONCEITUAIS, ONTOLOGIAS E ALGORITMOS GENÉTICOS

FRANCISCO EDSON LOPES DA ROCHA

TD 02/2007

UFPA/CT/PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM: UMA ABORDAGEM QUALITATIVA BASEADA  
EM MAPAS CONCEITUAIS, ONTOLOGIAS E ALGORITMOS GENÉTICOS

FRANCISCO EDSON LOPES DA ROCHA

TD 02/2007

UFPA/CT/PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

FRANCISCO EDSON LOPES DA ROCHA

AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM: UMA ABORDAGEM QUALITATIVA BASEADA  
EM MAPAS CONCEITUAIS, ONTOLOGIAS E ALGORITMOS GENÉTICOS

Tese submetida à Banca Examinadora do  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Elétrica da UFPA para a obtenção do Grau  
de Doutor em Engenharia Elétrica: Com-  
putação Aplicada.

UFPA/CT/PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
2007

---

R672a Rocha, Francisco Edson Lopes da

Avaliação da aprendizagem: uma abordagem qualitativa baseada em mapas conceituais, ontologias e algoritmos genéticos / Francisco Edson Lopes da Rocha; orientador, Eloi Luiz Favero,-2007.

Tese Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2006.

1. Estudantes - avaliação - automação. 2. Algoritmos genéticos. 3. Aprendizagem cognitiva - automação.I. Título.

CDD-21. ed. 371.27

---

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM: UMA ABORDAGEM QUALITATIVA BASEADA  
EM MAPAS CONCEITUAIS, ONTOLOGIAS E ALGORITMOS GENÉTICOS

AUTOR: FRANCISCO EDSON LOPES DA ROCHA

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA.

APROVADA EM: 18/05/2007

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Eloi Luiz Favero (Orientador-UFPA)

---

Prof. Dr. Roberto Célio Limão de Oliveira (Membro-UFPA)

---

Prof. Dr. Carlos Leônidas da Silva Souza Sobrinho (Membro-UFPA)

---

Prof. Dr. Adilson do Espírito Santo (Membro-NPADC/UFPA)

---

Prof. Dr. Regivan Hugo Nunes Santiago (Membro-UFRN/DIMAP)

---

Prof. Dr. Gustavo Augusto Lima de Campos (Membro-UECE)

VISTO:

---

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes (COORDENADOR DO PPGE/CT/UFPA)

*“If at first the idea is not absurd, then there is no hope for it.”*

— Albert Einstein

*Dedico este trabalho à minha família.*

# Agradecimentos

Aos colegas e funcionários do Departamento de Informática da UFPA pelo incentivo.

Aos colegas antigos e novos do PPGEE, especialmente àqueles de quem recebi os ensinamentos que usei neste trabalho.

Aos alunos do CBCC/UFPA que colaboraram no desenvolvimento dos protótipos.

Ao Prof. Arnaldo Corrêa Prado Junior pela prestimosa colaboração. Era impossível saber 33 anos atrás, quando, ao final do meu curso de graduação em Engenharia Elétrica na UFPA, o Arnaldo me mostrou as primeiras linhas de um programa de computador, quão importante e decisiva a Informática seria na minha vida profissional.

Aos meus amigos fora do ambiente universitário que acompanharam toda a longa trajetória deste trabalho e sempre me deram muito apoio e compreensão.

Aos meus familiares que tanto me incentivaram e torceram por mim e souberam pacientemente entender o motivo de muitas recusas ao lazer em companhia da família sempre com a famosa frase: “... *não dá para eu ir, estou trabalhando na tese.*”

Ao meu orientador, Prof. Eloi Luiz Favero, cujo caráter negociador e paciência foram determinantes para o relacionamento de alto nível que sempre tivemos no decorrer do desenvolvimento da pesquisa e da tese.

Ao meu primeiro orientador, o Prof. Luiz Affonso Guedes de Oliveira, com quem discuti as primeiras idéias deste trabalho.

Ao meu ex-aluno, companheiro de pesquisa e amigo Júlio Valente da Costa Junior. Parte do que está colocado nesta tese amadureceu a partir das minhas longas discussões com o Júlio.

Aos meus filhos queridos Francisco Edson Junior e Dario Cesar pela inspiração que sempre representaram na minha vida.

Às minhas enteadas Alessandra, Aline e Andressa, à minha nora Teuly, e netinhas Ana Vitória e Ana Luíza pelo carinho e apoio.

À minha mãe, pelo incentivo, carinho e apoio. Na lucidez dos seus 82 anos, D. Iracema sabe, como ninguém, reconhecer uma boa idéia. Obrigado pelos ensinamentos e exemplos.

Finalmente, mas não com menos importância, um agradecimento muitíssimo especial à minha esposa Clarice que, no seu jeito peculiar de aprovar as coisas, sempre me brindou com seu carinho, amor, e compreensão, e, tenho certeza, torceu muito para eu chegasse ao final do trabalho com sucesso.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Identificação do Problema . . . . .	3
1.2	Objetivos . . . . .	4
1.3	Desafios . . . . .	4
1.4	Contribuições . . . . .	5
1.5	O Ambiente <i>CMTool</i> . . . . .	6
1.6	Organização da Tese . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Aprendizagem Significativa: Um resumo da teoria de Ausubel</b>	<b>11</b>
2.1	Introdução . . . . .	11
2.2	Significado, Aprendizagem Significativa e Retenção . . . . .	13
2.2.1	Aprendizagem Significativa Representacional . . . . .	15
2.2.2	Aprendizagem de Conceitos . . . . .	15
2.2.3	Aprendizagem de Proposições . . . . .	16
2.3	Processos de Aprendizagem Significativa . . . . .	17
2.3.1	Diferenciação Progressiva . . . . .	17
2.3.2	Reconciliação Integrativa . . . . .	19
2.4	Abordagem Instrucional . . . . .	20
2.5	Organizadores Prévios . . . . .	21
2.6	Avaliação da Aprendizagem Significativa . . . . .	22
2.7	Princípios Facilitadores da Aprendizagem Significativa . . . . .	23
2.8	Considerações finais do capítulo . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Mapas conceituais</b>	<b>26</b>
3.1	Introdução . . . . .	26
3.2	Mapas conceituais . . . . .	28
3.2.1	Sintaxe dos MCs . . . . .	29
3.2.1.1	Representação de Conceitos . . . . .	29
3.2.1.2	Representação de Proposições . . . . .	30
3.2.2	Semântica dos MCs . . . . .	31
3.2.2.1	Conceitos . . . . .	31

3.2.2.2	Proposições . . . . .	32
3.2.2.3	Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa . . . . .	33
3.3	Ambigüidade em Mapas Conceituais . . . . .	33
3.4	Considerações finais do capítulo . . . . .	35
<b>4</b>	<b>Revisão da Literatura sobre avaliação da aprendizagem</b>	<b>37</b>
4.1	Introdução . . . . .	37
4.2	O Processo Educacional e Seus objetivos . . . . .	38
4.3	A Taxonomia de Bloom e a Avaliação da Aprendizagem . . . . .	41
4.4	Avaliação da aprendizagem com mapas conceituais . . . . .	43
4.5	Avaliação automática da aprendizagem . . . . .	49
4.5.1	Avaliação automática de textos . . . . .	50
4.5.2	Avaliação automática de mapas conceituais . . . . .	52
4.6	Considerações finais do capítulo . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Ontologias e a avaliação qualitativa da aprendizagem</b>	<b>54</b>
5.1	Introdução . . . . .	54
5.2	Definição de uma Gramática EBNF para suportar Inclusividade em MCs . . . . .	56
5.2.1	A notação EBNF . . . . .	56
5.2.2	A Gramática de Inclusividade . . . . .	57
5.3	A taxonomia de frases de ligação . . . . .	59
5.4	Inferência . . . . .	61
5.5	Ontologias de domínio . . . . .	62
5.5.1	Uma ontologia exemplo . . . . .	63
5.6	Considerações finais do capítulo . . . . .	64
<b>6</b>	<b>Algoritmos genéticos e a avaliação qualitativa da aprendizagem</b>	<b>66</b>
6.1	Introdução . . . . .	66
6.2	Exemplo de uso de um AG tradicional: achar o máximo de uma função . . . . .	69
6.3	Insumos para o <i>GAADT-CM</i> . . . . .	72
6.4	Funcionamento do <i>GAADT-CM</i> . . . . .	72
6.4.1	Definição de um alfabeto . . . . .	73
6.4.2	Formação dos genes . . . . .	74
6.5	A primeira população de MCs . . . . .	77
6.6	Evolução das Gerações de MCs . . . . .	79
6.7	Técnicas adicionais utilizadas . . . . .	85
6.8	Resultados obtidos . . . . .	87
6.8.1	Insumos Utilizados . . . . .	87
6.8.2	Análise de Resultados . . . . .	87

6.8.3	Análise de Comportamento do <i>GAADT-CM</i> . . . . .	88
6.8.3.1	Definição do parâmetro <i>gap</i> . . . . .	89
6.8.3.2	Ajuste dos demais parâmetros do <i>GAADT-CM</i> . . . . .	92
6.8.4	Confiabilidade do <i>GAADT-CM</i> . . . . .	92
6.9	Um modelo de avaliação . . . . .	95
6.9.1	Um exemplo de avaliação . . . . .	98
6.10	Considerações finais do capítulo . . . . .	99
<b>7</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>101</b>
7.1	Contribuições Científicas . . . . .	103
7.2	Trabalhos futuros . . . . .	104
<b>A</b>	<b>A taxonomia de frases do <i>CMTool</i></b>	<b>107</b>
<b>B</b>	<b>Uma ontologia exemplo</b>	<b>118</b>
<b>C</b>	<b>Detalhes de Implementação</b>	<b>129</b>
<b>D</b>	<b><i>CMEditor</i> - Ajuda</b>	<b>145</b>
D.1	Mapas que podem ser desenhados no <i>CMEditor</i> . . . . .	145
D.1.1	Criando um mapa conceitual livre de contexto . . . . .	146
D.1.1.1	Primeira ativação . . . . .	146
D.1.1.2	Editor em execução . . . . .	148
D.1.1.3	Mapas contextualizados . . . . .	149
D.2	Outras funções do <i>CMEditor</i> . . . . .	152
D.2.1	Desfazer e Refazer Operações . . . . .	152
D.2.2	Zoom: aproximando e afastando . . . . .	153
D.2.3	Opções de formatação . . . . .	154
D.3	Exportar um mapa conceitual como imagem . . . . .	154
D.4	Definição de preferências . . . . .	155
D.5	Leitura de mapas . . . . .	155

# Lista de Figuras

1.1	Arquitetura do ambiente <i>CMTool</i> . . . . .	6
1.2	Exemplo de um mapa conceitual desenhado com o <i>CMEditor</i> . . . . .	7
1.3	Exemplo de uma ontologia desenhado com o <i>On_Tool</i> . . . . .	8
1.4	Níveis iniciais da taxonomia de frases de ligação . . . . .	9
2.1	Requisitos para ocorrer a aprendizagem significativa . . . . .	12
2.2	Dimensões da aprendizagem (Moreira, 1999a) . . . . .	14
2.3	Aprendizagem significativa por Recepção . . . . .	14
2.4	Aprendizagens de Conceitos . . . . .	16
2.5	Aprendizagem significativa de proposições . . . . .	17
2.6	Exemplos de Diferenciação Progressiva . . . . .	18
2.7	Heurística para diferenciação progressiva . . . . .	19
2.8	Aprendizagem por Reconciliação Integrativa . . . . .	19
3.1	Um Círculo de Conceitos sobre doenças infecciosas – Fonte: Trowbridge & Wandersee (1998) . . . . .	26
3.2	V Epistemológico de uma atividade de laboratório sobre a densidade da água – Fonte: Trowbridge & Wandersee (1998) . . . . .	27
3.3	Um Mapa Conceitual sobre Rede de Computadores . . . . .	29
3.4	Conceitos e Proposições no <i>CMEditor</i> . . . . .	30
3.5	MC com uso ambíguo da frase enlace <tem> . . . . .	34
3.6	MC com uso ambíguo da frase enlace <consiste> . . . . .	35
4.1	Classificação de um objetivo na tabela taxonômica . . . . .	41
4.2	Componentes da avaliação da aprendizagem - adaptado de Ruiz-Primo & Shavelson (1996) . . . . .	44
4.3	Técnicas de mapeamento conceitual escolhidas em diferentes pontos do <i>continuum</i> - adaptado de Ruiz-Primo (2004) . . . . .	45
5.1	MC sobre a estrutura de uma planta . . . . .	59
5.2	Exemplo de funcionamento do processo de transitividade . . . . .	62
5.3	Exemplo de funcionamento do processo de inversão . . . . .	62

5.4	Processos de inversão e transitividade simultâneos . . . . .	63
5.5	Edição de uma ontologia de domínio usando o Protegé . . . . .	63
6.1	A roleta para o exemplo da Tabela 6.2 . . . . .	71
6.2	Insumos para o <i>GAADT-CM</i> . . . . .	72
6.3	Mapa conceitual sobre aprendizagem humana . . . . .	73
6.4	Exemplo de uma ontologia simples . . . . .	74
6.5	Conjunto base B gerado pela união de conceitos e relações . . . . .	75
6.6	Conjunto G (alfabeto) para o ontologia da Figura 6.4 . . . . .	76
6.7	MC inserido pelo estudante e MC gerado pelo <i>GAADT-CM</i> . . . . .	82
6.8	Estratégia de estado estacionário (Limão, 2004) . . . . .	86
6.9	Mapa do aprendiz utilizado nos testes . . . . .	87
6.10	Desempenho do <i>GAADT-CM</i> no Experimento 1 da Tabela 6.7 . . . . .	91
6.11	Desempenho do <i>GAADT-CM</i> no Experimento 2 da Tabela 6.7 . . . . .	91
6.12	Melhores cromossomos do primeiro experimento . . . . .	93
6.13	Melhores cromossomos do segundo experimento . . . . .	93
6.14	Melhores cromossomos do terceiro experimento . . . . .	94
6.15	Melhores cromossomos do quarto experimento . . . . .	94
6.16	Desempenho do <i>GAADT-CM</i> no Experimento 3 da Tabela 6.7 . . . . .	95
6.17	Desempenho do <i>GAADT-CM</i> no Experimento 4 da Tabela 6.7 . . . . .	95
6.18	Desempenho comparativo do <i>GAADT-CM</i> nos experimentos da Tabela 6.7 . . . . .	95
6.19	Desempenho do <i>GAADT-CM</i> com todos os parâmetros ajustados . . . . .	96
6.20	Melhores indivíduos com todos os parâmetros ajustados . . . . .	96
6.21	A confiabilidade do <i>GAADT-CM</i> com todos os parâmetros ajustados . . . . .	97
C.1	Técnica de desenho implementada nos editores gráficos . . . . .	131
C.2	As barras de menus do <i>CMEditor</i> e do <i>On_Tool</i> . . . . .	132
C.3	Classes do pacote <i>cmeditor</i> . . . . .	136
C.4	Classes do pacote <i>cmeditor.desenho</i> . . . . .	136
C.5	Classes do pacote <i>cmeditor.desenho.elemento</i> . . . . .	137
C.6	Classes do pacote <i>on_tool.io</i> . . . . .	137
C.7	Classes do pacote <i>cmeditor.desenho.metodo</i> . . . . .	138
C.8	Classes do pacote <i>cmeditor.view</i> . . . . .	139
C.9	Classes do pacote <i>cmeditor.gui</i> . . . . .	139
C.10	Classes do pacote <i>cmeditor.gui.dialogo</i> . . . . .	140
C.11	Classes do pacote <i>cmeditor.io</i> . . . . .	141
C.12	Pacotes de classes do <i>GAADT-CM</i> . . . . .	141
C.13	Classes do pacote <i>XMLTools</i> do <i>GAADT-CM</i> . . . . .	142

C.14	Classes do pacote Util do GAADT-CM . . . . .	142
C.15	Classes do pacote Ontologia do GAADT-CM . . . . .	143
C.16	Classes do pacote GAADT do GAADT-CM . . . . .	144
D.1	Tela de <i>splash</i> do <i>MCEditor</i> . . . . .	145
D.2	Tela de desenho do <i>MCEditor</i> . . . . .	146
D.3	Seções da barra de menus do <i>MCEditor</i> . . . . .	146
D.4	Diálogo para Inserção de Elementos no MC . . . . .	147
D.5	Representação gráfica de um conceito . . . . .	147
D.6	Setas flutuantes de um conceito . . . . .	147
D.7	Desenhando um relacionamento . . . . .	148
D.8	O nó terminal de uma proposição . . . . .	148
D.9	Uma proposição em formação . . . . .	148
D.10	Seta flutuante de uma frase de ligação . . . . .	148
D.11	Botão <i>Novo</i> da Barra de Ferramentas . . . . .	149
D.12	Diálogo Salvar . . . . .	149
D.13	Diálogo <i>Novo Mapa Conceitual</i> . . . . .	149
D.14	Edição do rótulo de um elemento . . . . .	150
D.15	Objetos que o usuário pode colocar num mapa . . . . .	150
D.16	Representação gráfica da taxonomia do ambiente . . . . .	150
D.17	Construção de uma proposição num mapa contextualizado . . . . .	151
D.18	Mapa contextualizado desenhado no ambiente . . . . .	151
D.19	Representação em XML de um MC contextualizado . . . . .	152
D.20	Funções disponíveis no menu Arquivo . . . . .	152
D.21	Funções disponíveis no menu Editar . . . . .	153
D.22	Atalhos para desfazer/refazer operações . . . . .	153
D.23	Atalhos para afastar/aproximar . . . . .	154
D.24	Opções de Formatação . . . . .	154
D.25	Atributos que podem ser pre-definidos . . . . .	155
D.26	Leitura em mapas conceituais . . . . .	156

# Lista de Tabelas

2.1	Exemplos de Organizadores Gráficos categorizados funcionalmente . . . . .	22
3.1	Elementos de desenho do <i>CMEditor</i> . . . . .	29
4.1	Visão atual da taxonomia de Bloom - Fonte: Airasian et al. (2001) . . . . .	39
4.2	Tipos e subtipos da dimensão conhecimento - Adaptado de Airasian et al. (2001)	39
4.3	Categorias da dimensão processo cognitivo e processos cognitivos relacionados - Adaptado de Airasian et al. (2001) . . . . .	40
4.4	Aplicação da taxonomia de Bloom na avaliação da aprendizagem . . . . .	42
4.5	Natureza das tarefas de avaliação, dos formatos de resposta e do sistema de avaliação - Adaptado de Ruiz-Primo (2004) . . . . .	46
5.1	Características de MCs e ontologias de domínio . . . . .	55
5.2	Exemplo de definição usando EBNF . . . . .	56
5.3	Descrição do não-terminal DEFINIÇÃO . . . . .	58
5.4	Extratos da Gramática EBNF para Inclusividade (indentação usada para facilitar a leitura) . . . . .	58
5.5	Extratos da taxonomia de frases de ligação . . . . .	60
5.6	Extratos de uma ontologia do <i>CMTool</i> . . . . .	64
6.1	Indivíduos de uma população: principais tipos de representação - Fonte (Pacheco, 2007) . . . . .	68
6.2	Execução do AG até a operação de seleção (Goldberg, 1989) . . . . .	70
6.3	Continuação da Execução do AG (Goldberg, 1989) . . . . .	71
6.4	Exemplos de frases de ligação classificadas na cadeia taxonômica <b>Inclusivi- dade. Assimétrica. Definição. Analítica. Partição. Composição</b> . . . . .	75
6.5	Valores admissíveis dos parâmetros que intervêm no cálculo do grau de um gene	81
6.6	Parâmetros usados na implementação do <i>GAADT-CM</i> . . . . .	89
6.7	Experimentos para ajuste do Parâmetro gap . . . . .	90
6.8	Valores obtidos experimentalmente para os parâmetros do <i>GAADT-CM</i> . . . . .	92
6.9	Resultados da avaliação de um MC . . . . .	98

C.1	Pacotes e classes do <i>CMEditor</i> . . . . .	133
C.2	Pacotes e classes do <i>On_Tool</i> . . . . .	134

# Resumo

Nas últimas duas décadas, o crescimento nas áreas de Redes de Computadores e Inteligência Artificial - IA - favoreceu o avanço da pesquisa em outras áreas de conhecimento, entre elas a Educação. Nesta área, novas descobertas deslocaram as pesquisas das antigas teorias educacionais *comportamentalistas* para o *construtivismo*, levando a um melhor entendimento de como acontece a aprendizagem. Aprendizagem Significativa - AS - é uma das teorias construtivista em grande evidência atualmente e Mapa Conceitual - MC - é a sua ferramenta cognitiva principal. Adicionalmente, o amadurecimento da pesquisa da modalidade de Educação a Distância - EAD - permitiu aplicar o processo educacional em larga escala.

Nesta tese investiga-se a avaliação automática inteligente da aprendizagem mediada por mapas conceituais. Trata-se de uma abordagem qualitativa, denominada de avaliação formativa, que está em conformidade com o modelo de Bloom, uma referência para os processos educacionais - ensino, aprendizagem e avaliação da aprendizagem. A proposta apresentada pretende ser uma alternativa de solução para uma importante questão na área da Educação: **Como avaliar qualitativamente a aprendizagem respeitando os processos cognitivos idiossincráticos de cada estudante?**

A integração de mapas conceituais, ontologias de domínio e algoritmos genéticos possibilita um avanço no estado da arte de avaliação e acompanhamento automático da aprendizagem. Quebra-se o paradigma das avaliações apenas quantitativas, apresentando uma nova abordagem de acompanhamento gradual e contínuo das atividades do estudante. Nesta abordagem pode-se fazer o acompanhamento individual, respeitando a forma idiossincrática de aprender, e/ou de grupo de estudantes, sendo possível agrupá-los por características cognitivas específicas ou por grau de desenvolvimento.

Esta tese inicia uma nova linha de pesquisa que pode ser sintetizada como “Avaliação automática qualitativa da aprendizagem centrada em Mapas Conceituais, fundamentada com técnicas de IA: ontologias e algoritmos genéticos”. Dentro dessa nova linha de pesquisa, a tese traz as seguintes contribuições:

- um protótipo de um ambiente para ensino, aprendizagem e avaliação da aprendizagem, fundamentado na Aprendizagem Significativa, incluindo um editor de mapas conceituais, um editor de ontologias e um módulo avaliador;
- uma proposta de uso de algoritmos genéticos e ontologias para avaliação/acompanhamento qualitativo da aprendizagem, permitindo:
  - acompanhamento individual passo a passo;

- acompanhamento de grupos de estudantes;
- comparações entre estudantes.

As ontologias de domínio são geradas pelo professor usando um editor de ontologias que é disponibilizado no ambiente. Elas contêm o conhecimento estrutural que deve ser aprendido pelos estudantes antes que estes possam dominar outras formas de conhecimento.

O algoritmo genético foi projetado para funcionar em dois modos distintos: i) gerando múltiplos MCs para comparar com o MC do estudante, permitindo uma avaliação da aprendizagem em qualquer estágio do andamento do curso; esta avaliação é relativa, centrada num determinado número de conceitos que representa uma estrutura parcial do domínio de conhecimento sendo estudado; e ii) gerando um MC ótimo de acordo com a ontologia gerada pelo professor para permitir uma avaliação completa da aprendizagem do domínio de conhecimento que foi estudado. O modelo proposto foi avaliado pela implementação de protótipos para a ferramenta de avaliação.

O algoritmo genético desenvolvido usa como espaço de busca as ontologias. Ele imita os processos cognitivos característicos da aprendizagem significativa e constrói MCs que possam ser comparados semanticamente com o do estudante. Sua função de adaptação representa uma forma medir distâncias no campo cognitivo, sendo a escala de medida dada por uma taxonomia que organiza dimensões semânticas e, dentro destas, frases de ligação. Esta taxonomia é usada pelo professor ao construir as ontologias e pelos estudantes ao construírem seus mapas conceituais.

Os principais desafios que envolveram o desenvolvimento da pesquisa relatada nesta tese foram os seguintes: 1) determinação de um modelo adequado de ontologia de domínio que pudesse ser aplicado à avaliação da aprendizagem; 2) determinação de um método e uma escala de medida que se aplicasse ao domínio cognitivo; e 3) determinação de um mecanismo de busca na ontologia que fosse coerente com as teorias construtivistas da avaliação da aprendizagem.

A pesquisa relatada neste trabalho pode avançar em função de novas funcionalidades ou de melhorias nas funcionalidades já implementadas. Algumas possibilidades foram sugeridas ao final da tese, sendo uma das principais a disponibilização do ambiente na Internet.

Esta tese gerou 7 (sete) contribuições científicas, 1 (uma) em revista qualis A, 1 (uma) em revista qualis B, 2 (duas) em congressos internacionais e 3 (três) em congressos nacionais. Os resultados obtidos fazem avançar significativamente o que já foi conseguido até então no grupo de pesquisa AmAm/UFPA, em cujo contexto esta tese está inserida.

**Palavras-chave:** Informática Educativa, Avaliação automática da aprendizagem, Aprendizagem Significativa, Mapas Conceituais, Ontologias de Domínio, Algoritmos Genéticos.

# Abstract

In the last two decades, the development of areas such as Computer Networks and Artificial Intelligence (AI) has favored the growth of other areas of knowledge, like Education. In this area, new discoveries have changed the focus of research from old behaviorist educational theories to constructivism, leading to a better understanding of how learning occurs. Meaningful Learning (ML) is a constructivist theory in evidence nowadays and the Concept Map (CM) is its main cognitive tool. Additionally, the recent developments on Distance Learning (DL) have made it possible to apply the educational process in a larger scale.

In this thesis, automatic learning assessment mediated by concept maps is investigated. This is related to a qualitative approach, named as formative assessment, which is compliant with Bloom's model, a reference for educational processes - teaching, learning, and learning assessment. The proposal presented in this thesis is seen as an alternative solution to an important issue in the area of Education: how to evaluate learning qualitatively, respecting each student's cognitive processes?

The integration of concept maps, domain ontologies, and genetic algorithms allows for advances in automatic learning assessment and assistance. The paradigm of mere quantitative assessment is broken, and a new approach to gradual and continuous assistance in learning is presented. Following this approach, it is possible to accompany students individually, respecting their idiosyncratic ways of learning, and also to group students based on specific cognitive characteristics or development degrees.

This thesis begins a new research area, which can be synthesized as "Automatic qualitative assessment of learning centered in Concept Maps, based on AI techniques: ontologies and genetic algorithms". In this new research area, the thesis originated the following contributions:

- a prototype of an environment designed to aid teaching, learning, and learning assessment, founded upon Meaningful Learning, encompassing a concept map editor, an ontology editor, and an assessment module;
- A proposal concerning the use of genetic algorithms and ontologies in qualitative assessment/assistance of learning, allowing for:
  - step-by-step individual assistance;
  - assistance to groups of students;
  - comparisons among students.

Domain ontologies are generated by the teacher, who uses an ontology editor provided by the environment. They comprise the structural knowledge that must be learned by students before they can manage other forms of knowledge.

The genetic algorithm was designed to run in two distinct modes: i) generating multiple CMs to compare with the student's CM, allowing for learning assessment at any moment of the course; this assessment is relative, centered in a determined number of concepts which represent a partial structure of knowledge domain being studied.; and ii) generating an optimal CM according to the ontology created by the teacher, to permit a complete assessment of the learning of the knowledge domain which was studied. The proposed model was evaluated by the implementation of prototypes for the assessment tool.

The genetic algorithm developed uses the ontologies as its search spaces. It emulates meaningful learning cognitive processes, and constructs CMs that can be semantically compared to that of the student. Its fitness function represents a way of measuring distances in the cognitive field, being the measurement unit given by a taxonomy that organizes semantic dimensions and, inside these, linking phrases. This taxonomy is used by teachers when they construct their ontologies, and by students when they construct their concept maps.

The main challenges faced in the development of the research reported in this thesis were: 1) definition of a domain ontology model that could be applied to learning assessment; 2) definition of a method and a scale that could be applied to the cognitive domain; and 3) definition of a search mechanism in the ontology in accordance with constructivist theories of learning assessment.

The research described in this thesis can be further developed with new functionalities or improvements in functionalities already implemented. Some possibilities are suggested in the end of the thesis, the main of which being the deployment of the environment in the Internet.

This thesis has generated 7 (seven) scientific contributions, 1 (one) in a qualis A magazine, 1 (one) in a qualis B magazine, 2 (two) in international congresses, and 3(three) in national congresses. The results of this research advance what has already been attained by the AmAm/UFPA research group, in whose context this thesis is inserted.

**Keywords:** Educational Informatics, Automatic learning assessment, Meaningful Learning, Concept Maps, Domain Ontologies, Genetic Algorithms.

# Capítulo 1

## Introdução

Nas últimas duas décadas, com o crescimento das redes de computadores e o franco desenvolvimento da área de Inteligência Artificial - IA - novas fronteiras de pesquisa se abriram para outros campos de conhecimento, entre eles a Educação. Neste campo, novas descobertas deslocaram as pesquisas das antigas teorias educacionais *comportamentalistas* para o *construtivismo* (Bruner, 1996), levando a um melhor entendimento de como acontece a aprendizagem. **Construtivismo** é uma área de pesquisa da Psicologia Cognitiva que trabalha com a idéia de que aprendizagem envolve a construção de conhecimento e mudança conceitual. Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2000) - AS - é uma das teorias construtivista em grande evidência atualmente e **Mapa Conceitual** - MC - é a sua ferramenta cognitiva principal (Novak & Gowin, 1984).

Ainda no campo da Educação, uma modalidade que está em grande crescimento é a Educação a Distância - EAD. Esta, direcionada à educação não presencial em larga escala, com turmas com milhares de estudantes oferece novos desafios. É difícil acompanhar e avaliar o desempenho de grupos com estas dimensões e ferramentas automáticas de ensino e de avaliação da aprendizagem para professores e monitores são ainda incompletas. Entretanto, as pesquisas em EAD avançam com o desenvolvimento de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) (Lima, 2006); estes são sistemas desenvolvidos para operar em redes de longo alcance, viabilizando a interação necessária ao processo educativo. Porém, a questão crucial permanece em aberto: do ponto de vista construtivista, na maioria destes ambientes, a forma de avaliar a aprendizagem é insatisfatória por falta de uma clara base epistemológica norteando sua concepção e desenvolvimento.

A área de IA permite três abordagens distintas para a resolução de problemas: Inteligência Artificial Simbólica (IAS), Inteligência Artificial Conexionista (IAC) e Inteligência Artificial Evolucionária (IAE)<sup>1</sup>. IAS se fundamenta na hipótese de que inteligência resulta da manipu-

---

<sup>1</sup>Alguns autores denominam IAE de Computação Evolucionária (CE). Este termo será usado também nesta monografia com o mesmo significado (ver Eiben & Smith (2003))

lação formal de símbolos e os projetos nesta área modelam o conhecimento na forma de regras (Tveter, 1998), na forma de casos (Barreto, 2001), ou na forma de relações conceituais compartilhadas (Corcho et al., 2004). Ontologias de domínio são aplicações de IAS utilizadas em várias áreas de conhecimento (Bard & Rhee, 2004; O’Leary, 1998). Elas podem ser usadas para propósitos de navegação, adaptação, compartilhamento e cooperação (Rocha et al., 2005).

IAC e IAE se inspiram na Biologia, sendo sistematizadas a partir da observação de como a Natureza age para solucionar seus problemas. Determinadas aplicações de IAC modelam o cérebro humano como “Redes Neurais Artificiais” (RNA). Estas são formadas por coleções de neurônios artificiais (modelos) ligados entre si, com capacidade para simular computacionalmente funções complexas. Uma característica importante das RNA é sua capacidade de aprender, ou seja, uma RNA suficientemente treinada é capaz de reconhecer padrões, por exemplo (Haykin, 2001).

**Algoritmo Genético** (Schwefel, 1987) - AG - é o principal paradigma da Computação Evolucionária. Seus elementos-chave são: a) um meio ambiente com recursos limitados; b) uma população de indivíduos; c) a noção de *fitness* (adaptação ao ambiente); d) um ciclo de nascimento e morte baseados na *fitness*; e e) a noção de herança. Os AGs são utilizados para resolver problemas gerais de otimização ligados ao conceito de adaptação em diversas áreas de engenharia e ciências (Holland, 1992), como otimização numérica e combinatória, programação automática e aprendizagem de máquina.

A taxonomia de objetivos educacionais de Bloom (Engelhart et al., 1956; Airasian et al., 2001) propõe uma classificação para o conhecimento que pode ser apreendido em sala de aula e para os processos cognitivos que auxiliam a aprendizagem. De acordo com essa taxonomia, questões fechadas - Verdadeiro/Falso, Combinação e Múltipla escolha - e abertas - Resposta Curta e Ensaio - são as consideradas adequadas para avaliar a aprendizagem.

A pesquisa atual sobre **avaliação automática** é, em grande parte, focada na avaliação de questões fechadas. Porém, questões objetivas são insuficientes para cobrir todo o espectro da taxonomia de Bloom. Por exemplo, aspectos relacionados à criação e à síntese ou ao metacognhecimento são melhor avaliados por meio de questões abertas.

Em função da sobrecarga de trabalho que pesa sobre o professor, a pesquisa sobre avaliação automática segue em passos largos, como atestam os trabalhos de Isotani & Brandão (2004), Pimentel & Omar (2006), Seixas et al. (2004), e Machado et al. (2004). Apesar dos grandes avanços na área, os resultados disponíveis são ainda insatisfatórios por serem, na sua maior parte, dedicados à modelos antigos de aprendizagem, seguidos na escola tradicional. A maioria das abordagens segue uma linha quantitativa, devolvendo um número em relação a uma escala, por exemplo 80% correto, dando pouco *feedback* para o estudante, nada informando sobre suas deficiências cognitivas, não permitindo saber onde se localizam e quais são elas. As deficiências

que podem ser reconhecidas neste campo da avaliação automática incluem: (a) poucas pesquisas sobre avaliação de questões abertas; (b) poucas pesquisas sobre avaliação focadas no modelo construtivista; (c) poucas pesquisas sobre a avaliação de mapas conceituais.

O foco desta tese é usar técnicas de IA - ontologias<sup>2</sup> e algoritmos genéticos - para avaliar qualitativamente Mapas Conceituais que representem o conhecimento construído por um estudante num determinado contexto. Neste sentido, o problema da avaliação pode ser decomposto nos seguintes passos:

- i) adoção de ontologias para gerar o contexto para a construção de mapas conceituais;
- ii) adoção de uma notação gráfica semi-formal para representar os mapas conceituais dos estudantes e facilitar o processo de avaliação, contrastando o mapa do estudante com o conhecimento codificado na ontologia;
- iii) adoção de um método evolutivo qualitativo de acompanhamento das tarefas de aprendizagem relativas à matéria de ensino.

## 1.1 Identificação do Problema

O desafio identificado nesta tese está no encontro de dois campos de pesquisa: Inteligência Artificial e Aprendizagem Significativa, esta representada por sua principal ferramenta cognitiva, os mapas conceituais. A integração destes dois campos permitirá avançar a fronteira do estado da arte da IA Simbólica e da avaliação automática de mapas conceituais pelo desenvolvimento de:

- um modelo de ontologias de domínio capaz de codificar o conhecimento estrutural de um determinado contexto de aprendizagem no interior de uma disciplina;
- um sistema de classificação das dimensões semânticas para ser utilizado com as ontologias de domínio do professor e com os mapas conceituais dos estudantes;
- uma notação gráfica semi-formal para construir mapas que representem o conhecimento contido na ontologia;
- um algoritmo genético capaz de gerar mapas conceituais corretos, de acordo com a ontologia de domínio, se servindo de uma função de adaptação (*fitness*) que mede distâncias no campo cognitivo.

A solução proposta incorpora o conhecimento das duas áreas: 1) uma ontologia definindo o contexto para a aprendizagem de um tópico da matéria de ensino; 2) um modelo gráfico,

---

<sup>2</sup>Neste trabalho, os termos ontologia e ontologia de domínio são considerados sinônimos

semi-formal, dos mapas conceituais para representar os conceitos construtivistas definidos na Aprendizagem Significativa; 3) um método e uma escala para medir distâncias semânticas entre mapas conceituais: o método representado por uma taxonomia de dimensões semânticas e frases de ligação, e a escala representada pela função de adaptação de um algoritmo genético que gera mapas conceituais imitando os processos cognitivos descritos na aprendizagem significativa, e capaz de auxiliar na avaliação qualitativa da aprendizagem respeitando o princípio fundamental do construtivismo que é a idiosincrasia da aprendizagem de cada indivíduo.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho consiste em especificar e desenvolver um ambiente computacional com foco na **avaliação qualitativa** da aprendizagem sendo esta mediada pelos mapas conceituais. O ambiente proposto foi denominado de *Concept Mapping Tool (CMTool)*. *CMTool* utiliza um modelo de aprendizagem e avaliação baseado na aprendizagem significativa, sendo adequado para avaliação e acompanhamento individual passo a passo, avaliação e acompanhamento de grupos de estudantes e para a geração de comparações da aprendizagem entre estudantes ou grupo de estudantes.

Os objetivos específicos do trabalho em relação ao ambiente são:

- Especificar a arquitetura;
- Implementar os mecanismos especificados na arquitetura que permitam integrar aprendizagem e avaliação da aprendizagem segundo o modelo construtivista da aprendizagem significativa;
- propor uma arquitetura baseada em editores gráficos, ontologias de domínio e algoritmos genéticos.

## 1.3 Desafios

Foram identificados três principais desafios na pesquisa realizada: (1) determinação de um modelo adequado de ontologia de domínio que pudesse ser aplicado à avaliação da aprendizagem; (2) determinação de um método e uma escala de medida que se aplicassem ao domínio cognitivo; (3) determinação de um mecanismo de busca na ontologia que fosse coerente com as teorias construtivistas da avaliação da aprendizagem.

Na literatura de IA estão disponíveis várias definições de ontologia, muitas contraditórias (Guarino, 1997). Foi necessário compatibilizar diferenças para criar um modelo de ontologia que servisse para ajudar a avaliar a aprendizagem nos moldes construtivistas. O modelo criado

reúne duas definições, uma dada por Neches e colaboradores (Neches et al., 1991), e a outra por Corcho e colaboradores (Corcho et al., 2004). Para completar a definição, foi acrescentada uma *gramática de inclusividade*. Esta traz para a ontologia uma noção fundamental da aprendizagem significativa: a classificação semântica entre os conceitos por nível de inclusividade.

Outro problema difícil de resolver foi encontrar uma forma de medir distâncias no campo cognitivo envolvendo as dimensões semânticas. Para vencer este desafio foi necessário definir primeiramente uma metodologia de medida e posteriormente uma escala. Partindo da gramática de inclusividade colocada na ontologia foi criada uma taxonomia de frases de ligação. Essa taxonomia informa quando uma dimensão é idêntica ou próxima semanticamente de outra dimensão.

Por fim, o principal desafio foi projetar e desenvolver um algoritmo genético cuja função de adaptação combinasse a aprendizagem idiossincrática do estudante com o modelo de ontologia definido para o ambiente.

## 1.4 Contribuições

Trabalhos prévios sobre avaliação da aprendizagem eram baseados no modelo clássico de comparação entre as respostas do estudante e um gabarito de referência. Este modelo de avaliação está de acordo com o modelo da escola tradicional, calcado nas crenças comportamentalistas de Skinner e outros. O desafio atual é encontrar maneiras viáveis de utilizar em sala de aula o modelo construtivista, incluindo um modelo de avaliação adequado. Nesse sentido, *CMTool* dá partida a um modelo de ambiente que contribui com as funcionalidades descritas a seguir:

- viabiliza a aplicação em sala de aula de um modelo construtivista baseado na aprendizagem significativa, com um mínimo de sobrecarga para professores e estudantes;
- viabiliza um modelo de *aprender a aprender* (Novak & Gowin, 1984), calcado na linguagem visual dos editores do ambiente;
- viabiliza um modelo de avaliação formativa da aprendizagem (Zabala, 1998) que respeita o modo individual de aprender de cada estudante, sem qualquer carga adicional para o professor;
- viabiliza a avaliação continuada, em qualquer estágio de andamento do curso, relativa a um grupo de conceitos e relativa a todos os conceitos estudados por meio da geração de um mapa ótimo;
- permite a identificação do perfil cognitivo de um estudante, viabilizando um acompanhamento individualizado do seu percurso acadêmico na instituição.

## 1.5 O Ambiente *CMTool*

*CMTool* é um *mindtool*<sup>3</sup> cujo objetivo principal é ajudar estudantes e professores a aplicar princípios construtivistas no decorrer do processo de aprendizagem escolar. Seu diagrama de blocos está ilustrado na Figura 1.1. Ele engloba sete módulos: o administrador, o editor de MCs (*CMEditor*), o editor de ontologias (*On\_Tool*), o avaliador, o algoritmo genético (AG), o motor de inferência, e um repositório.

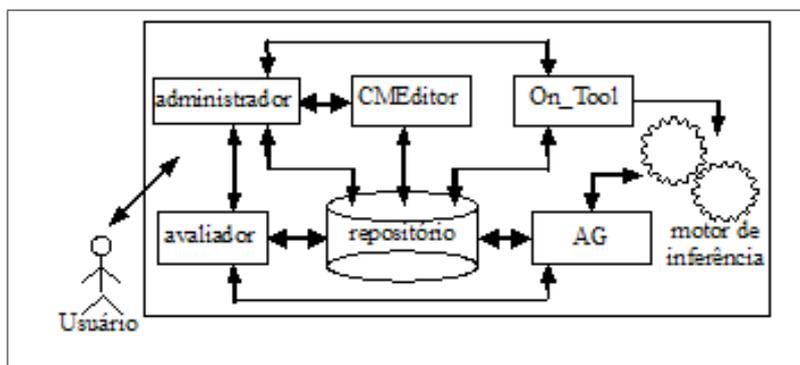


Figura 1.1 – Arquitetura do ambiente *CMTool*

O administrador é o módulo que controla o acesso ao ambiente por meio de permissões. Estas permissões distinguem os usuários pelo direito de uso das funções programadas no sistema. Por exemplo, um estudante pode usar o editor de mapas para desenhar um MC e submetê-lo ao sistema para avaliação da sua aprendizagem, mas não pode modificar a taxonomia do sistema. Já um professor pode fazer as duas coisas.

O *CMEditor*, usado principalmente pelos estudantes, implementa uma linguagem visual cujo objetivo é facilitar a construção de MCs em conformidade com os princípios da Teoria da Assimilação (Ausubel, 2000). Os estudantes podem desenhar mapas<sup>4</sup> para serem avaliados pelo sistema e o editor pode também ser utilizado para tarefas auxiliares ou preparatórias da aprendizagem, como, por exemplo, desenhar mapas para planejar a escrita de artigos científicos, conforme demonstrado em Silva et al. (2005). A Figura 1.2 mostra um mapa desenhado no editor.

O *CMEditor* é um editor clássico, composto de uma tela de desenho, uma barra de ferramenta e uma barra de menus. No seu projeto foram usadas as melhores técnicas de ergonomia e usabilidade (Silva, 2006). O caráter minimalista da sua barra de ferramentas, por exemplo, é o resultado mais óbvio da aplicação destas técnicas. O uso deste editor está mais detalhado no Apêndice D. O Apêndice C contém os detalhes do projeto de software do protótipo que foi

<sup>3</sup>Segundo Jonassen (1996), *mindtool* é uma ferramenta automatizada que funciona como um parceiro intelectual para seu usuário.

<sup>4</sup>Neste trabalho, são consideradas sinônimas as expressões *mapa* e *mapa conceitual*.

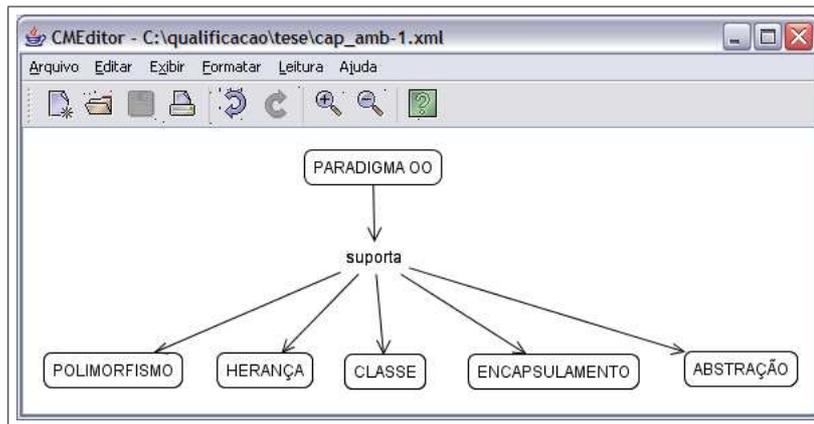


Figura 1.2 – Exemplo de um mapa conceitual desenhado com o *CMEditor*

desenvolvido para a implementação deste editor.

O editor *On\_Tool*, cujo principal usuário é o professor, é usado para construir ontologias de domínio associadas às tarefas de aprendizagem colocadas no ambiente. Para desenhar uma ontologia no *On\_Tool*, o professor desenha um grafo colocando nos vértices os conceitos e as frases de enlace. Uma ontologia é formada por relações binárias, diferente de um MC que é formado por proposições, ou seja, num mapa conceitual tem aprendizagem significativa representada, enquanto que numa ontologia tem somente conhecimento para ser compartilhado. Este conhecimento ontológico pode ser reconstruído durante o desenvolvimento de uma tarefa de aprendizagem. A Figura 1.3 apresenta uma ontologia construída com o *On\_Tool*. O projeto de interface do usuário deste editor segue o mesmo padrão do *CMEditor* e os elementos do projeto do software do protótipo estão no Apêndice C.

O repositório contém informações importantes para o funcionamento do ambiente, dentre as quais destaca-se a taxonomia de frases de ligação. Esta taxonomia implementa um modelo capaz de: (i) distinguir duas proposições diferentes, embora próximas, e (ii) atribuir valores de distância semântica proporcionais à diferença em significado entre duas proposições quaisquer que estejam sendo comparadas. Por exemplo, <COMUNICAÇÃO COMPARTILHADA> e <COMUNICAÇÃO LOCAL> são conceitos da área de comunicação de dados. As proposições <COMUNICAÇÃO COMPARTILHADA, é usada por, COMUNICAÇÃO LOCAL> e <COMUNICAÇÃO COMPARTILHADA, pode ser, COMUNICAÇÃO LOCAL>, formadas a partir dos mesmos conceitos, representam idéias diferentes no contexto de uma tarefa de aprendizagem. No primeiro caso, a frase de ligação é **usada por** é instância da dimensão semântica processo, enquanto que, no segundo caso, a frase de ligação **pode ser** representa a dimensão semântica classificação. Neste caso, o valor da distância semântica entre as duas proposições seria diferente de zero para informar que elas não expressam o mesmo significado.

A pesquisa seminal que inspirou a criação da taxonomia de frases de ligação foi conduzida por Kathleen Fisher (1988), que catalogou e classificou a maioria das frases de ligação usadas

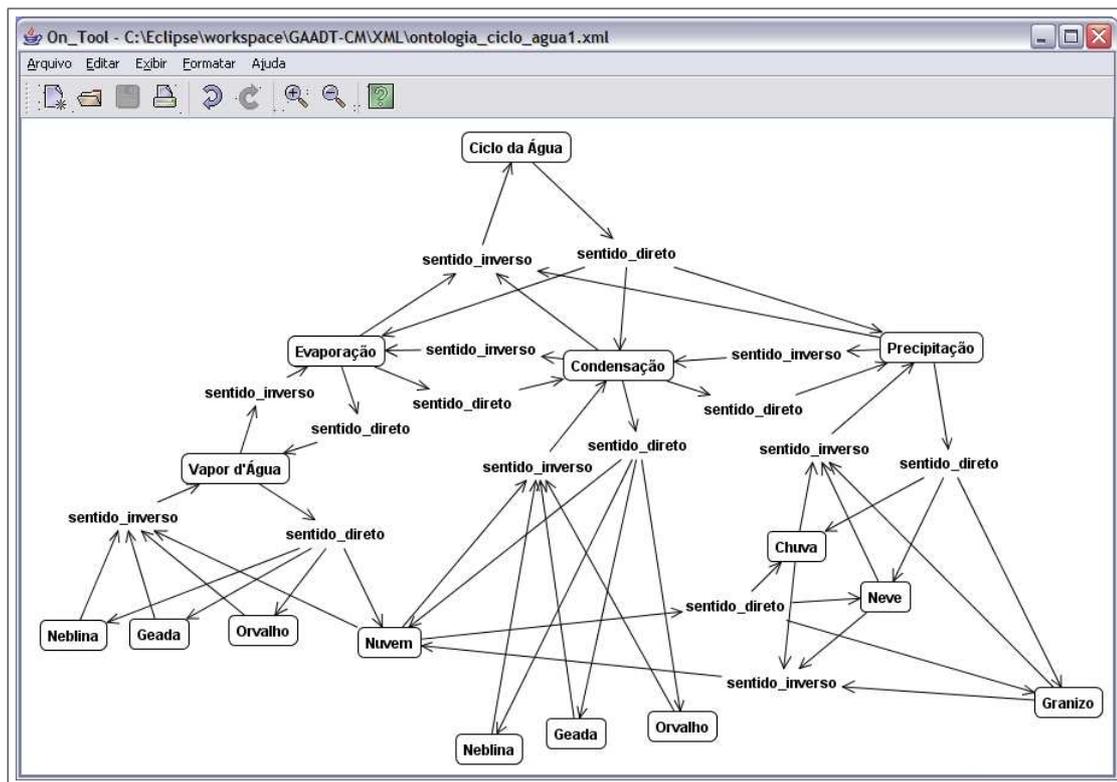


Figura 1.3 – Exemplo de uma ontologia desenhado com o *On\_Tool*

por estudantes. Na pesquisa corrente, manteve-se, por exemplo, a divisão de frases de ligação em *frases de ligação simétricas* (<<AGUA, é diferente de, FOGO>> é o mesmo que <<FOGO, é diferente de, AGUA>>) e frases de ligação assimétricas (<<CASA, tem parte, SALA>> não é o mesmo que <<SALA, tem parte, CASA>>). A taxonomia é ainda subdividida em outras categorias (ou dimensões). Os primeiros níveis da taxonomia estão ilustrados na Figura 1.4. Operacionalmente no ambiente, a taxonomia é representada por um arquivo codificado em XML. O Apêndice A contém uma cópia completa da taxonomia do ambiente.

O motor de inferência do ambiente é um módulo capaz de interpretar e combinar axiomas representativos das dimensões semânticas da taxonomia, para responder se determinada proposição é válida ou não<sup>5</sup>. Seu funcionamento é baseado na capacidade intrínseca da Programação em Lógica de produzir respostas para perguntas sobre fatos, ou combinação de fatos, declarados num programa. Por exemplo, se a ontologia contém o conhecimento explícito <<HOMEM, é, ANIMAL> e <ANIMAL, tem, CABEÇA>>, a proposição <<HOMEM, tem, CABEÇA>> é validada pelo motor de inferência, porque os axiomas referentes às dimensões utilizadas (partição e classificação) permitem inferir este conhecimento.

Além dos módulo já detalhados, o ambiente da pesquisa possui um algoritmo genético não-tradicional, chamado de *GAADT-CM* (*Genetic Algorithm based on Abstract Data Types applied to Concept Maps*) (Rocha et al., 2004a). Os cromossomos que compõem uma população do

<sup>5</sup>ver Seção 2.2.3 para o significado do termo “proposição”.

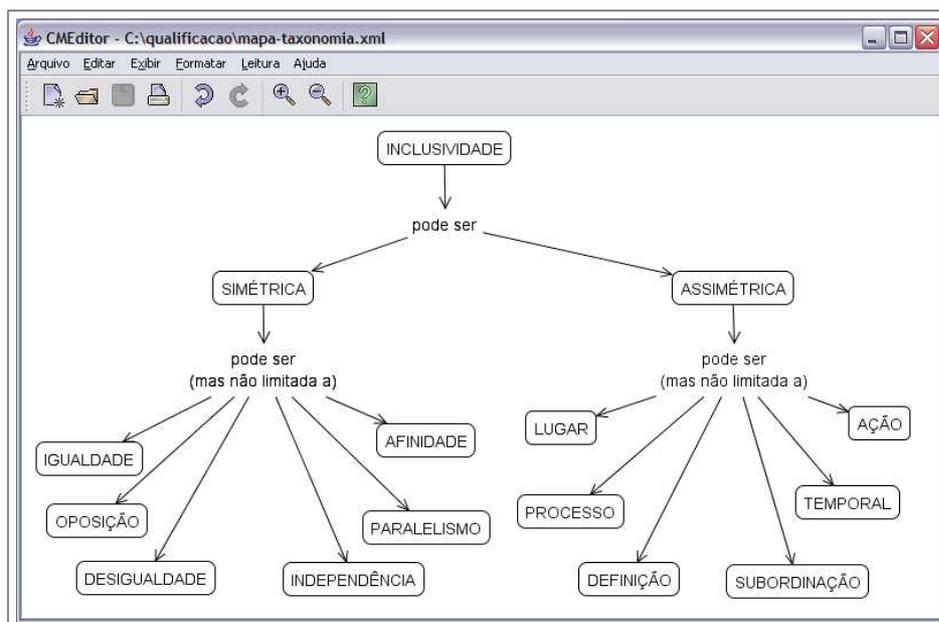


Figura 1.4 – Níveis iniciais da taxonomia de frases de ligação

*GAADT-CM* têm sua representação estratificada em três níveis de percepção: base, gene e cromossomo, sendo a base o nível mais elementar desta representação. Base, gene e cromossomo são descritos por axiomas matemáticos que são aplicados aos dados contidos numa ontologia de domínio. As bases<sup>6</sup> servem para formar os genes e estes para formar os cromossomos. Para o *GAADT-CM* um cromossomo é um mapa conceitual. O algoritmo foi projetado para construir mapas conceituais simulando os processos cognitivos próprios da aprendizagem significativa, podendo desta forma auxiliar a avaliar os mapas conceituais dos estudantes construídos segundo a mesma teoria.

Um módulo avaliador completa a estrutura do ambiente. Este módulo utiliza os resultados do *GAADT-CM*, o mapa conceitual submetido pelo estudante para avaliação e uma ontologia de domínio para produzir um relatório completo sobre a aprendizagem de um estudante ou de um grupo de estudantes.

## 1.6 Organização da Tese

Esta tese está estruturada em mais seis capítulos e quatro apêndices, os quais foram distribuídos na forma descrita a seguir:

**Capítulo 2:** apresenta um resumo da Teoria da Assimilação de David Paul Ausubel, ressaltando as características do seu principal conceito, a Aprendizagem Significativa. O capítulo discorre sobre Significado, Aprendizagem Significativa e Retenção, aprendizagem de conceitos e proposições, processos cognitivos denominados de diferenciação progressiva e reconciliação

<sup>6</sup>Na linguagem tradicional da área de algoritmos genéticos, as bases seriam o alfabeto.

integrativa, abordagem instrucional e avaliação da aprendizagem no contexto da AS.

**Capítulo 3:** descreve genericamente os mapas conceituais e em seguida os apresenta na perspectiva da notação gráfica semi-formal do ambiente *CMTool*. O objetivo do capítulo é mostrar, primeiramente, como os construtos teóricos desenvolvidos por Ausubel no contexto da AS foram mapeados para a estrutura dos mapas conceituais por Novak, e, em seguida, como estes mesmos construtos aparecem na linguagem visual do editor de mapas conceituais do ambiente, o *CMEditor*.

**Capítulo 4:** apresenta a revisão da literatura sobre avaliação da aprendizagem tendo como base os objetivos educacionais de Bloom. É relatado também o que foi feito em termos de avaliação automática e da avaliação mediada por mapas conceituais.

**Capítulo 5:** apresenta o modelo de ontologia do ambiente na perspectiva do editor de ontologias, o *On\_Tool*. O capítulo objetiva mostrar como o professor pode desempenhar seu papel ao utilizar o ambiente *CMTool*.

**Capítulo 6:** apresenta a especificação formal e o desenvolvimento do algoritmo genético que auxilia na avaliação qualitativa da aprendizagem significativa mediada por mapas conceituais.

**Capítulo 7:** apresenta as considerações finais; aborda as principais contribuições e discute como a pesquisa proposta na tese pode avançar em trabalhos futuros.

**Apêndice A:** contém uma versão completa da taxonomia de frases de ligação do ambiente *CMTool*.

**Apêndice B:** contém uma versão completa da ontologia usada em todos os exemplos e exercícios realizados no trabalho.

**Apêndice C:** contém elementos do projeto de software dos protótipos dos dois editores gráficos e do algoritmo genético que foram desenvolvidos.

**Apêndice D:** contém o arquivo de ajuda do editor de mapas conceituais, o *CMEditor*. Como o editor de ontologias, o *On\_Tool*, tem, praticamente, a mesma interface do usuário que o *CMEditor*, a ajuda é semelhante ao que foi apresentado.

## Capítulo 2

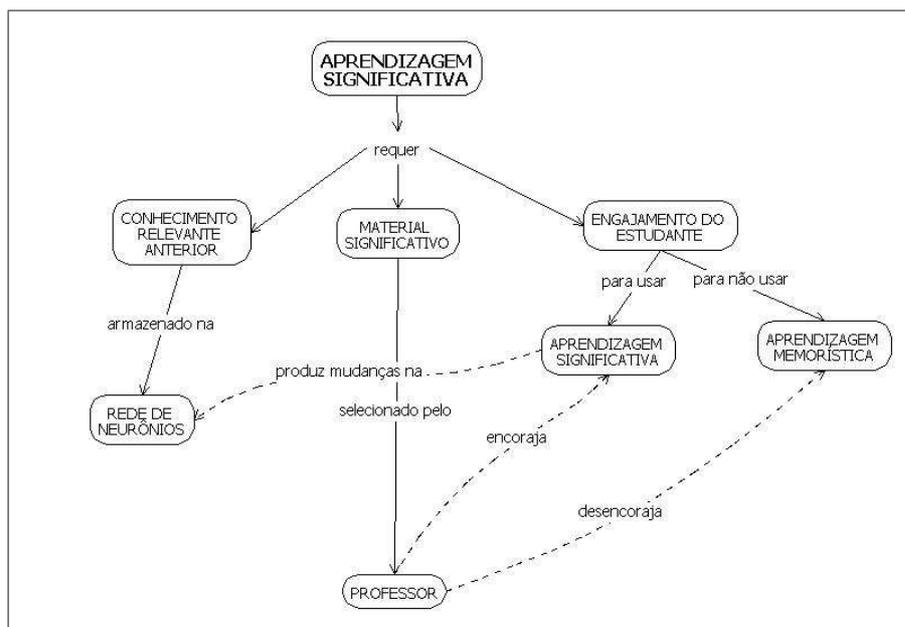
# Aprendizagem Significativa: Um resumo da teoria de Ausubel

### 2.1 Introdução

Os primeiros trabalhos de David Paul Ausubel sobre aprendizagem datam do início dos anos 60 do século passado. Sua primeira publicação sobre *Aprendizagem Significativa* tem o título *A Subsumption Theory of Meaningful Learning and Retention* (Ausubel, 1962). No ano seguinte, é publicado seu livro *The Psychology of Meaningful Verbal Learning* (Ausubel, 1963) contendo um detalhamento das idéias apresentadas no *paper* de 1962. Uma visão mais completa de suas idéias aparece no livro *Educational Psychology: A Cognitive View* (Ausubel, 1968). Numa segunda edição desse livro, Ausubel aceita a colaboração de Joseph Donald Novak e Helen Hanesian (Ausubel et al., 1978). Em 2000, publica uma revisão completa do seu livro de 1963 sob o título *The Acquisition and Retention of Knowledge: A Cognitive View* (Ausubel, 2000), no qual rediscute e reforça todos os pontos principais de sua teoria educacional.

A idéia central da teoria da assimilação de Ausubel é o que ele descreve como aprendizagem significativa, entendida como um processo no qual uma nova informação é relacionada a um aspecto relevante específico da estrutura cognitiva de um indivíduo. Para haver aprendizagem significativa é indispensável que:

- o estudante tenha conhecimento relevante anterior sobre o tema da aprendizagem;
- o material de aula seja significativo;
- o estudante decida aprender significativamente, abandonando práticas incompatíveis;
- o professor encoraje a aprendizagem significativa usando *ferramentas* e materiais instrucionais apropriados.



**Figura 2.1** – Requisitos para ocorrer a aprendizagem significativa

A Figura 2.1 apresenta mais detalhes sobre estes requisitos.

O interesse de Novak pelos trabalhos de Ausubel começa em 1964, quando ele toma conhecimento do livro *The Psychology of Meaningful Verbal Learning* e encontra nele a explicação para muitas das dificuldades que ele e seu grupo de pesquisa estavam experimentando para interpretar os dados obtidos sobre resolução de problemas por parte dos estudantes (Novak, 1998b).

Trabalhando inicialmente com uma teoria de aprendizagem baseada num modelo de processamento da informação (teoria cibernética), Novak assume que a capacidade de resolver problemas pode ser explicada por uma função de duas variáveis independentes, que se pode denominar de dois processos distintos: conhecimento armazenado na memória (dados) e capacidade de processar este conhecimento (código executável). Porém, o que ele encontra sugerido na teoria de Ausubel é que estes dois processos são unificados no processo de *nova aprendizagem*, ou aprendizagem de novas informações, onde a integração de conhecimento novo e conhecimento antigo (já adquirido) é função da quantidade e da qualidade da organização da estrutura cognitiva.

A contribuição de Novak para a disseminação e uso da teoria educacional de Ausubel vai bem além da ampliação do arcabouço teórico. Ele se preocupa também com sua aplicabilidade em sala de aula e por isso se dedica ao desenvolvimento de novas abordagens instrucionais. No contexto de suas pesquisas sobre a aprendizagem de conceitos científicos, é desenvolvida a técnica do *mapa conceitual* (Novak, 1990), que acabou por se tornar a principal ferramenta metodológica da teoria da aprendizagem significativa.

A aprendizagem significativa é uma teoria *cognitiva* da construção de significados. Ela propõe que a aquisição e retenção do conhecimento (particularmente do conhecimento verbal como na escola) é o produto de um processo interacional ativo, integrador, entre a matéria de ensino e idéias relevantes presentes na estrutura cognitiva do estudante, às quais as novas idéias são relacionáveis de maneiras bem particulares.

Para Ausubel, o armazenamento de informações<sup>1</sup> na mente humana é altamente organizado, formando uma espécie de hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados a (e assimilados por) conceitos, a idéias, a proposições mais gerais e inclusivos (Moreira, 1999a). Esta hierarquia conceitual é chamada de estrutura cognitiva e é caracterizada por determinadas variáveis que afetam o processo de aprendizagem significativa: *disponibilidade, especificidade, clareza, estabilidade, discriminabilidade*, e outras.

Inclusividade (ou grau de inclusão) é o princípio teórico adotado para classificar as idéias da estrutura cognitiva e formar a hierarquia. Inclusividade pode se traduzir em muitas formas diferentes de relacionamento estrutural entre conceitos (Fisher, 1988)<sup>2</sup>.

Contrastando com a aprendizagem significativa, Ausubel define *aprendizagem mecânica* ou *aprendizagem memorística* como sendo a aprendizagem de novas informações sem produzir qualquer conhecimento novo, visto que sua relação com o conhecimento existente na estrutura cognitiva é arbitrária, não-substantiva, literal, periférica e, geralmente, de duração, utilidade e significância transitórias (Ausubel, 2000). Tipicamente, esta aprendizagem (p.ex. números de telefones) tem utilidade limitada a pequenas práticas que economizam tempo e esforço.

Embora sejam distintas, a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica não são dicotômicas. Elas existem num *continuum*. A distinção estabelecida entre estas formas de aprendizagem é diferente da distinção entre aprendizagem *por descoberta* e aprendizagem *por recepção*. Na aprendizagem por recepção o que deve ser aprendido é apresentado ao estudante na sua forma final; já na aprendizagem por descoberta o que deve ser aprendido deve ser descoberto pelo estudante (Moreira, 1999a). A Figura 2.2 apresenta uma síntese destas idéias.

## 2.2 Significado, Aprendizagem Significativa e Retenção

Conforme mostrado na Figura 2.3, aprendizagem significativa por recepção pode ser **representacional, de conceitos e de proposições**. Para qualquer uma destas formas de aprendizagem a formação de significados é essencial, pois sem estes não há aprendizagem significativa.

---

<sup>1</sup>O termo *informações* é usado neste trabalho com significado genérico. Pode se referir a conceitos, a idéias, a proposições ou a conhecimentos.

<sup>2</sup>Inclusividade não diz respeito somente às dimensões de partição ou contenção física compreendidas pelo senso comum do termo. Na teoria de Ausubel se refere à inclusividade semântica, ou seja, um termo mais inclusivo é um que, sob uma determinada ótica, engloba outros termos menos inclusivos em alguma dimensão de relacionamento.

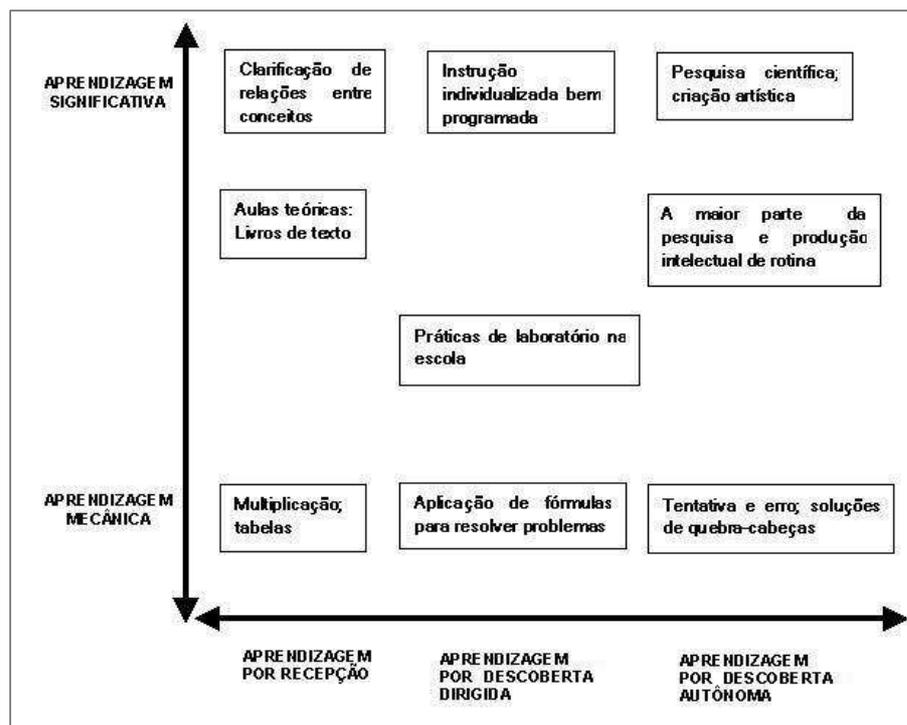


Figura 2.2 – Dimensões da aprendizagem (Moreira, 1999a)

A condição de potencialmente significativo do material de aula pressupõe que:

- o material tenha significado lógico: seja relacionável de modo não arbitrário à uma estrutura cognitiva do estudante<sup>3</sup>;
- a estrutura cognitiva específica do estudante seja capaz de receber o novo material: contenha *idéias-âncora* às quais ele possa ser relacionado.

A interação entre novos significados potenciais contidos no material e idéias relevantes na

<sup>3</sup>A expressão é aqui empregada no sentido figurado porque um estudante não tem várias estruturas cognitivas.

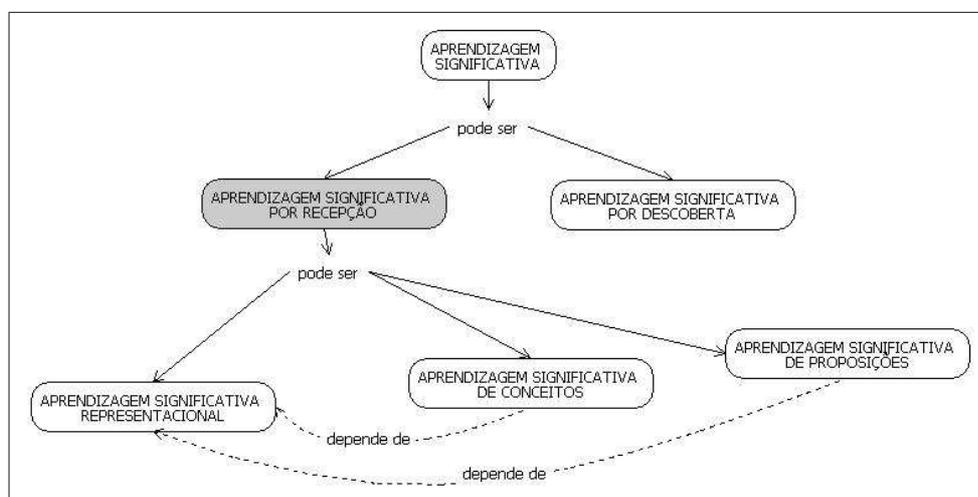


Figura 2.3 – Aprendizagem significativa por Recepção

estrutura cognitiva do estudante origina os significados reais ou psicológicos. Porque a estrutura cognitiva de cada estudante é exclusiva, todos os significados adquiridos são também exclusivos (Ausubel, 2000).

### 2.2.1 Aprendizagem Significativa Representacional

A aprendizagem significativa representacional (que também pode ser chamada de nomeação) é o tipo mais básico de aprendizagem significativa. Por isso, é a que está mais perto da aprendizagem mecânica. Ela ocorre quando um símbolo arbitrário passa a ter um significado equivalente ao de seu referente (um objeto, evento ou fenômeno denotado pelo símbolo), ou seja, o símbolo passa a significar para o indivíduo aquilo que seu referente significa.

Este tipo de aprendizagem é considerado significativo porque estas proposições de equivalência representacional podem representar instâncias de generalizações presentes na estrutura cognitiva de quase todas as pessoas desde seu primeiro ano de vida – na tenra infância aprende-se que tudo tem nome e o nome é usado no sentido daquilo que o referente significa para o jovem estudante. Por causa disto é que para qualquer criança, no seus primeiros anos de vida, a palavra *mãe* significa apenas a sua própria mãe (a pessoa que lhe dispensa cuidados).

### 2.2.2 Aprendizagem de Conceitos

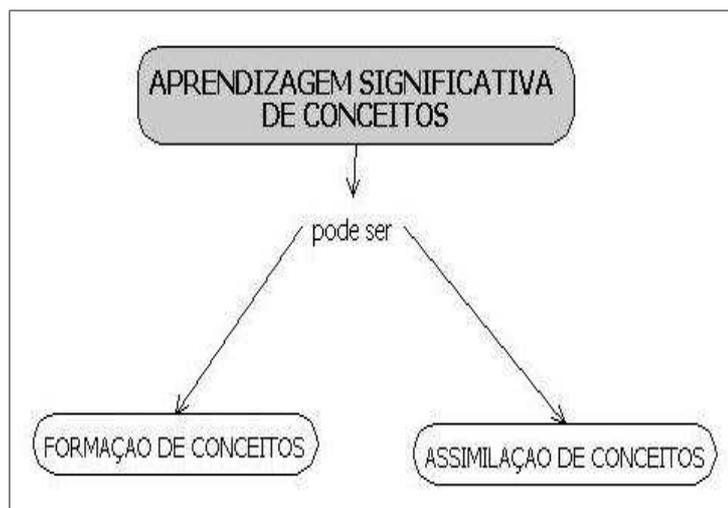
Conceitos são regularidades percebidas em objetos, eventos, situações ou propriedades (Novak & Gowin, 1999) ou conceitos consistem de atributos criteriosais abstratos que são comuns a dada categoria de objetos, eventos, ou fenômenos, a despeito da diversidade que possa existir em outras dimensões diferentes daquelas caracterizando os atributos criteriosais compartilhados por todos os membros da categoria em questão (Ausubel, 2000). Os atributos criteriosais abstratos compartilhados ou as regularidades percebidas representam a natureza semântica de uma relação que pode existir entre uma coleção de conceitos de uma determinada área de conhecimento, num determinado contexto<sup>4</sup>. Por exemplo, dados os conceitos PAI, MÃE e FILHO, há uma diversidade de maneiras de relacionar estes conceitos. Se a relação semântica é de PARENTESCO, pode-se dizer que FILHO tem PAI e MÃE.

Conforme mostrado na Figura 2.4, há duas formas gerais para a aprendizagem de conceitos:

- **formação de conceitos**, que acontece na primeira infância; e
- **assimilação de conceitos**, que é a forma dominante da aprendizagem de conceitos na escola.

---

<sup>4</sup>Esta natureza semântica é também referenciada neste trabalho pela palavra **dimensão**.



**Figura 2.4** – Aprendizagens de Conceitos

Na formação de conceitos, os atributos criteriais são adquiridos por experiência direta: sucessivos estágios de geração de hipóteses, teste e generalização. À medida que o vocabulário da criança aumenta, novos conceitos são adquiridos principalmente pelo processo de assimilação de conceitos, que consiste em definir os atributos criteriais dos novos conceitos a partir da combinação dos referentes disponíveis na sua estrutura cognitiva.

Conceitos podem ser **superordenados**<sup>5</sup> e **subordinados**. Conceitos superordenados são aqueles considerados por Ausubel como *âncoradouro* para a aprendizagem de novos conceitos e por isso são capazes de classificar os novos conceitos que estão sendo aprendidos. Por outro lado, conceitos subordinados são aqueles capazes de serem classificados por um conceito superordenado já aprendido ou ainda não aprendido. Esta é base teórica para diferenciar as aprendizagens de proposições, conforme é explicado na Seção 2.2.3.

### 2.2.3 Aprendizagem de Proposições

Uma proposição é a combinação de dois (ou mais) conceitos mediada por uma frase - ou palavra - de ligação. Os conceitos de uma proposição são classificados segundo uma hierarquia baseada no conceito de inclusividade. Desta forma, em toda proposição haverá um conceito que é semanticamente mais inclusivo que o outro. As proposições são formadas em decorrência de aprendizagens que envolvem a determinação da natureza da relação entre os conceitos e uma maneira particular de combiná-los. A Figura 2.5 mostra os tipos de aprendizagens de proposições que ocorrem na aprendizagem significativa.

A aprendizagem proposicional subordinada ocorre quando uma proposição “logicamente” significativa numa disciplina particular é relacionada significativamente a proposições superior-

<sup>5</sup>Moreira (1999a) usa o termo *subsunçor*, inexistente na língua portuguesa, para denotar um conceito superordenado.

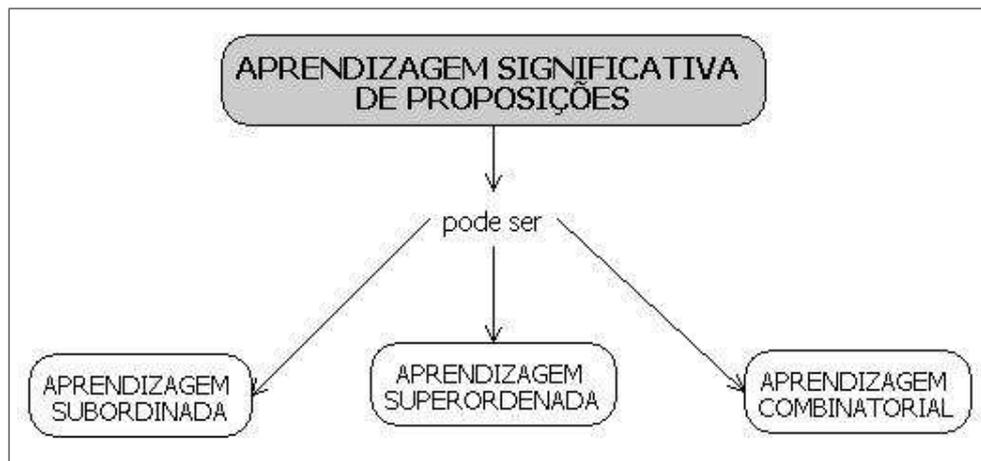


Figura 2.5 – Aprendizagem significativa de proposições

denadas específicas da estrutura cognitiva do estudante. Esta aprendizagem pode ser chamada de:

- **derivativa** se a nova proposição simplesmente exemplifica ou explica uma idéia já existente na estrutura cognitiva; ou
- **correlativa**, se a nova proposição é uma ampliação, elaboração, modificação ou qualificação de idéias previamente aprendidas.

A aprendizagem proposicional superordenada ocorre quando uma nova proposição é relacionável a idéias subordinadas específicas existentes na estrutura cognitiva, ou a uma coleção genérica de idéias relevantes que possam ser *incluídas* por ela.

Finalmente, a aprendizagem combinatorial de proposições refere-se a instâncias em que uma proposição potencialmente significativa não pode ser relacionada a idéias relevantes (subordinadas ou superordenadas) da estrutura cognitiva do estudante, mas é relacionável a uma combinação de idéias com diversos graus de relevância.

## 2.3 Processos de Aprendizagem Significativa

A aprendizagem significativa se processa por intermédio de processos cognitivos que ampliam e transformam a estrutura cognitiva do estudante. As seções que seguem apresentam as principais características da **diferenciação progressiva** e da **reconciliação integrativa**, os dois processos nomeados e definidos por Ausubel (2000) como mediadores desta forma de aprendizagem.

### 2.3.1 Diferenciação Progressiva

Quando um novo conceito ou proposição é aprendido por subordinação, ou seja, por um processo de interação e ancoragem em um conceito superordenado (subsunçor), tanto o conceito

que está sendo adquirido (o novo conceito) como o conceito já aprendido (o subsumor) se modificam. A ocorrência deste processo uma ou mais vezes é resultado da **Diferenciação Progressiva** do conceito subsumor na estrutura cognitiva (Ausubel, 2000). A Figura 2.6 apresenta exemplos de conceitos diferenciados progressivamente: CICLO DA ÁGUA, PRECIPITAÇÃO ATMOSFÉRICA e VAPOR D'AGUA.

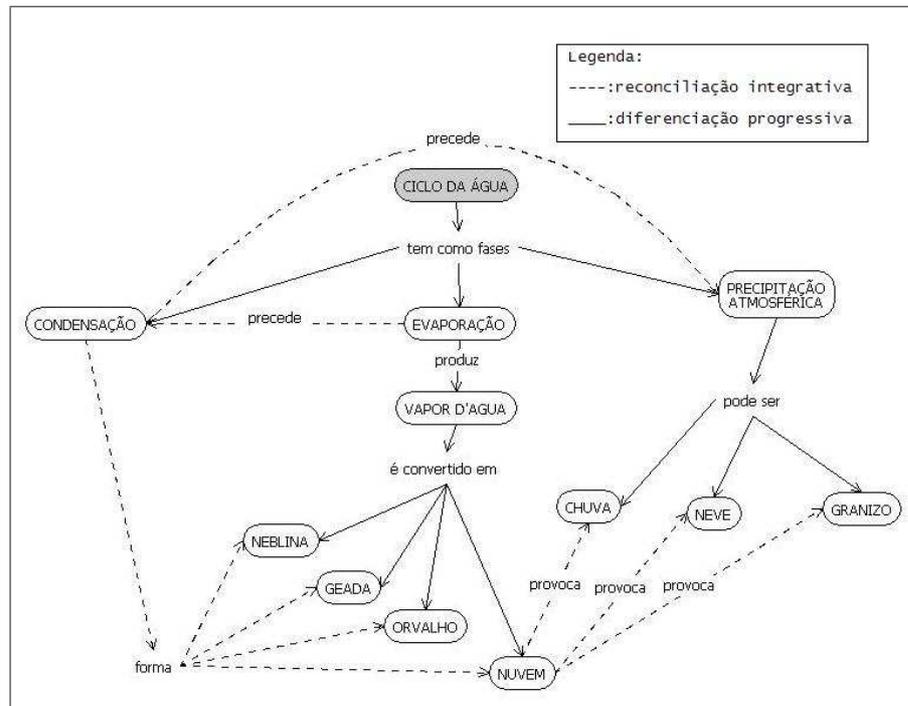


Figura 2.6 – Exemplos de Diferenciação Progressiva

O conceito VAPOR D'AGUA está diferenciado progressivamente porque ele tem conceitos que lhe são subordinados (NEBLINA, GEADA, ORVALHO e NUVEM), ou seja, VAPOR D'AGUA é o subsumor e os outros são assimilados por ele. O significado desta aprendizagem do conceito VAPOR D'AGUA é que o elemento natural “vapor d’água” passa por processo(s) que o leva(m) a se transformar em “neblina”, “geada”, “orvalho” ou “nuvem”.

O processo mental que conduz a uma aprendizagem por diferenciação progressiva de um conceito que pertence a um conjunto de conceitos de uma disciplina, num determinado contexto, envolve: (i) a determinação de uma relação entre cada par de conceitos do conjunto; (ii) a verificação daquele conceito que tem mais relações; (iii) a determinação da natureza da relação; e (iv) a escolha da frase de enlace adequada para representar a natureza da relação entre os conceitos. A Figura 2.7 sintetiza os dois primeiros passos deste processo para o caso do conceito VAPOR D'AGUA: a Figura 2.7(a) apresenta o conjunto de conceitos estudados; as Figuras 2.7(b) e 2.7(c) mostram as possíveis relações entre o conceito VAPOR D'AGUA e os demais; e as Figuras 2.7(d) e 2.7(e) mostram uma relação de um para muitos entre VAPOR D'AGUA e os demais conceitos, caracterizando sua diferenciação progressiva.

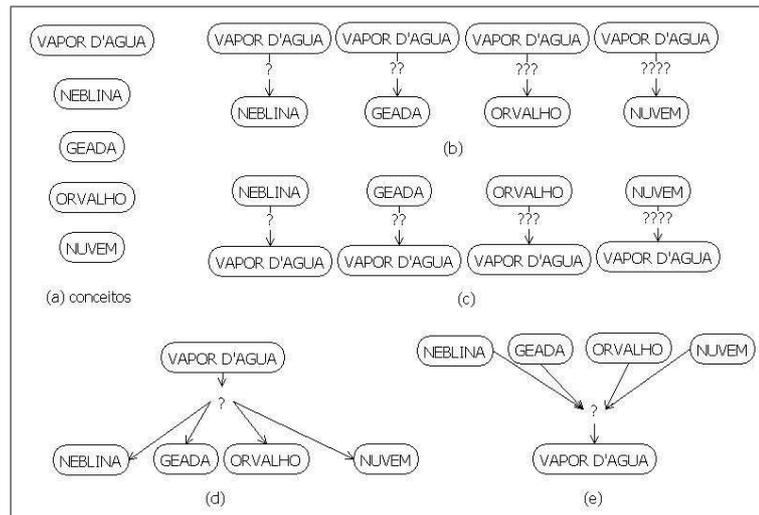


Figura 2.7 – Heurística para diferenciação progressiva

### 2.3.2 Reconciliação Integrativa

*Reconciliação Integrativa* é a recombinação de elementos previamente existentes na estrutura cognitiva, no decurso de uma aprendizagem significativa superordenada ou combinatória. Neste caso, idéias estabelecidas na estrutura cognitiva podem ser reconhecidas como relacionadas, também, de modo diferente do anteriormente existente e assim novos significados são gerados a partir da reorganização destes elementos. A Figura 2.8 mostra como poderia ter sido a evolução da aprendizagem do conceito EVAPORAÇÃO por meio de uma aprendizagem significativa por reconciliação integrativa, especificamente aprendizagem superordenada.

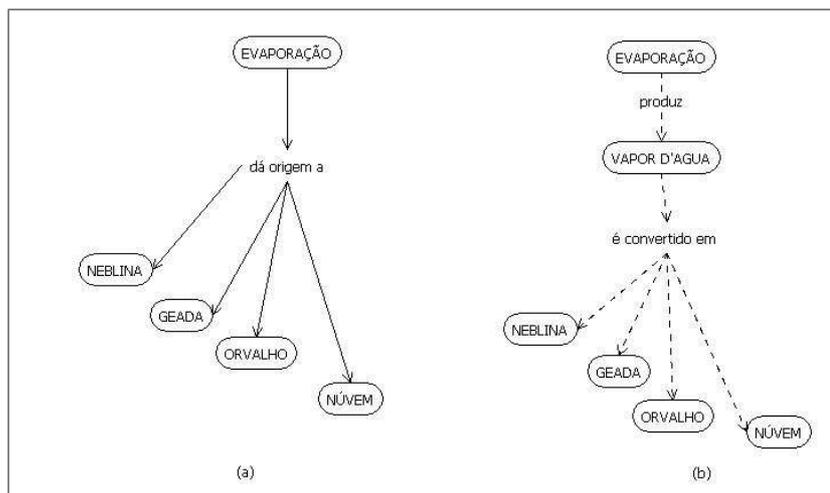


Figura 2.8 – Aprendizagem por Reconciliação Integrativa

Na Figura 2.8(a), EVAPORAÇÃO *inclui* os conceitos NEBLINA, GEADA, ORVALHO e NUVEM. Da situação mostrada infere-se que a aprendizagem ocorreu por diferenciação progressiva. No caso (b), o estudante mostra que adquiriu um novo conceito (VAPOR D'AGUA) que é capaz de superordenar (ou incluir) conceitos que ele já tinha aprendido anteriormente.

Na nova situação de aprendizagem, os conceitos antigos são reconciliados sob o novo conceito. Diz-se que houve aprendizagem por reconciliação integrativa superordenada.

O valor cognitivo da aprendizagem por reconciliação integrativa pode ser facilmente reconhecido na situação expressa neste exemplo. No caso (a), a aprendizagem demonstrada é correta, mas incompleta na medida em que não está explícito qual é o produto final do processo de evaporação da água. No caso (b), a aprendizagem do conceito VAPOR D'AGUA dá substancial precisão à aprendizagem na medida em que mostra que resultado da “evaporação” é o “vapor d’água” e como ele pode se transformar nas formas condensadas comumente conhecidas.

Um outro tipo de aprendizagem significativa por reconciliação integrativa é aquela mostrada pelas linhas pontilhadas na Figura 2.6. Este tipo de aprendizagem é chamada de combinatorial porque liga significativamente diferentes segmentos da hierarquia conceitual. Novak & Gowin (1999, p.52) consideram que estas *ligações cruzadas* podem indicar **capacidade criativa** e, por isso, deve-se estimular o estudante na tarefa de encontrá-las.

## 2.4 Abordagem Instrucional

Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa podem também ser abordadas do ponto de vista instrucional como:

- (i) A diferenciação progressiva pode ser vista como um princípio programático da matéria de ensino, segundo o qual as idéias, conceitos e proposições mais gerais e inclusivos do conteúdo devem ser apresentados no início da instrução e, progressivamente, diferenciados em termos de detalhes e especificidades (Ausubel, 2000). As hipóteses que suportam esta assertiva são: (a) parece ser mais fácil captar aspectos diferenciados de um todo mais inclusivo previamente aprendido, do que chegar ao todo a partir das partes comuns previamente aprendidas, em outras palavras, o caminho *top-down* parece mais fácil de trilhar do que o caminho *bottom-up*; (b) a organização do conteúdo de uma certa disciplina, na mente de um estudante, é uma estrutura hierárquica na qual as idéias mais inclusivas e gerais estão no topo e, progressivamente incorporam proposições, conceitos e fatos menos inclusivos e mais diferenciados;
- (ii) A reconciliação integrativa, por sua vez, é o princípio segundo o qual a instrução deve também explorar relações entre idéias, apontar similaridades e diferenças importantes e reconciliar discrepâncias reais e aparentes.

## 2.5 Organizadores Prévios

*Organizador prévio* é um termo cunhado por Ausubel para identificar pequeno segmento de instrução que deve ser apresentado antes de grandes unidades instrucionais. Estes pequenos segmentos devem conter material mais geral e mais abstrato que a unidade de ensino que vai ser apresentada em seguida. O objetivo dos organizadores prévios é ajudar o estudante a relacionar o novo conhecimento que vai ser aprendido ao que ele já sabe.

Novak (1998a) assegura que os organizadores prévios são a idéia mais pesquisada dentro do trabalho de Ausubel, embora seja apenas uma estratégia instrucional. No seu livro de 2000, Ausubel confirma que “a função dos organizadores prévios é prover *ancoragem* para a incorporação estável e retenção do material mais detalhado e diferenciável contido na tarefa de aprendizagem que segue, como também aumentar a discriminabilidade entre o conhecimento contido na tarefa de aprendizagem e as *idéias-âncora* relevantes da estrutura cognitiva do estudante” (p. 62).

Para serem eficazes, os organizadores prévios devem ser projetados para atender a dois requisitos (Novak, 1998a):

- identificar conceitos e proposições relevantes específicos, conhecidos pelo estudante;
- planejar a organização e o seqüenciamento do novo conhecimento de forma a maximizar a habilidade do estudante em relacionar o novo conhecimento ao que ele já sabe.

Embora a tarefa de construir bons organizadores prévios pareça difícil, Novak (opus cit., p.71) assegura que para uma dada população de estudantes, há freqüentemente um conjunto comum de conceitos que podem servir como âncora para a aprendizagem de novos conceitos e proposições. Organizadores prévios cuidadosamente planejados podem facilitar em muito esta ancoragem.

Organizadores prévios podem ser implementados por meio de organizadores gráficos que são “representações visuais adicionadas aos materiais instrucionais para comunicar sua estrutura lógica” (Trowbridge & Wandersee, 1998).

Readence et al. (1985) propõem cinco tipos principais de organizadores gráficos. Eles são classificados de acordo com as suas funções, conforme mostrado na Tabela 2.1.

Trowbridge & Wandersee (1998) postulam que os organizadores gráficos, para serem eficazes, devem ser centrados numa teoria educacional (*theory-driven*). Daqueles apresentados na Tabela 2.1, os *ausubelianos* são: Círculos de Conceitos, Diagrama em V e Mapas Conceituais. Por isso, são os indicados para aplicar os conceitos teóricos **diferenciação progressiva e reconciliação integrativa**.

## 2.6 Avaliação da Aprendizagem Significativa

Ausubel sugere três modos distintos para testar a aprendizagem significativa:

- testes de compreensão;
- resolução de problemas; e
- aprendizagem dependente de seqüência.

Novak propõe uma forma alternativa de avaliação: aquela mediada pelos mapas conceituais, que é a que foi implementada nesta tese.

Aprender significativamente envolve a aquisição de significados claros, precisos, diferenciáveis e transferíveis. A tentativa de testar o conhecimento adquirido desta forma por meio de testes de compreensão pode falhar porque nada impede que as respostas revelem verbalizações aprendidas por memorização. Ausubel considera que, para serem eficazes, os testes devem ser fraseados numa linguagem diferente e apresentados num contexto diferente daquele encontrado no material instrucional (Ausubel, 2000). Formas simples de aplicar testes de compreensão podem ser:

- pedir aos estudantes para diferenciar entre idéias relacionadas (similares) mas não idênticas;
- identificar elementos de um conceito ou proposição numa lista contendo elementos de conceitos ou proposições que sejam similares (testes de múltipla escolha).

Resolver problemas é também uma das formas de testar se os estudantes realmente compreendem significativamente as idéias que eles memorizam e verbalizam com facilidade. Entretanto, Ausubel considera que a resolução de problemas também exige o domínio de outras habilidades e qualidades, além da compreensão que são: raciocínio, perseverança, flexibilidade, espírito empreendedor, arrojo, familiaridade com a natureza do problema e táticas de abordagem

**Tabela 2.1** – Exemplos de Organizadores Gráficos categorizados funcionalmente

<b>Categoria da Função</b>	<b>Exemplo 1</b>	<b>Exemplo 2</b>
Causa/efeito	Diagrama Espinha-de-peixe	Diagrama Vetorial
Comparação/contraste	Mapa Conceitual	tabela K-W-L
Ordem Temporal	Fluxograma	Diagrama de Ciclo
Listagem Simples	Círculo de Conceitos	Diagrama de Espectro
Solução de Problemas	Diagrama em Vê (V)	Quadros (ou Grades)

(opus cit., p.126). Por esta razão, o insucesso na resolução de problemas pode não estar associado a uma deficiência na compreensão dos princípios que são aplicáveis a determinada classe de problemas, mas sim à uma falha no domínio de uma ou mais das habilidades complementares citadas. Da mesma forma, o sucesso na resolução de problemas pode não ser um claro indicativo de compreensão dos princípios relevantes associados à natureza do problema, porque a resposta produzida pode ser produto de tentativa e erro ou de tirada de sorte em tentativas aleatórias. Por estas razões, cuidados adicionais devem ser tomados ao usar a resolução de problemas para avaliar a aquisição de significados.

Uma forma mais simples de testar se houve aprendizagem significativa é apresentar ao estudante uma nova tarefa de aprendizagem que é seqüencialmente dependente de uma tarefa anterior. Ou seja, a nova tarefa só pode ser realizada se tiver havido compreensão da tarefa anterior (Ausubel, 2000).

A busca de evidência de aprendizagem significativa por qualquer dos métodos citados envolve sempre risco da resposta dada ser derivada de aprendizagem memorística. A longa experiência dos estudantes em fazer provas torna-os adeptos da memorização de proposições-chave, fórmulas, causas, exemplos, explicações e formas de reconhecer e de resolver problemas típicos. O perigo da simulação memorística da aprendizagem significativa pode ser evitado fazendo perguntas e propondo problemas que sejam novos e não familiares na forma e que requeiram a maior transformação possível do conhecimento existente.

Novak & Gowin (1999) apresentam a idéia de usar MCs para avaliar a aprendizagem significativa. Neste contexto, eles servem simultaneamente a duas finalidades: ajudam a reconhecer mudanças na estrutura cognitiva dos estudantes e, servem para aplicar um sistema de pontuação baseado nos seus elementos estruturais (estrutura hierárquica, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa).

## **2.7 Princípios Facilitadores da Aprendizagem Significativa**

Na aprendizagem significativa, o mais importante fator a ser considerado no processo de ensino é a estrutura cognitiva do estudante no momento da aprendizagem. É ela, por seu conteúdo e organização em uma dada área de conhecimento, o principal fator influenciador da aprendizagem significativa e da retenção nesta área.

A estrutura cognitiva pode ser influenciada de duas maneiras: (i) *substantivamente* pela apresentação ao estudante de conceitos e princípios unificadores e inclusivos, com maior poder explanatório e propriedades integradoras; (ii) *programaticamente*, pelo emprego de métodos adequados de apresentação do conteúdo e pela utilização de princípios programáticos apropriados na organização sequencial da matéria de ensino (Moreira, 1999b).

Quanto ao conteúdo, a primeira tarefa é a identificação dos conceitos básicos da matéria de ensino e da forma como eles estão estruturados. Resolvido este problema organizacional substantivo, a atenção pode ser dirigida aos problemas organizacionais programáticos envolvidos na apresentação e organização seqüencial das unidades. Ausubel (1978, p.189) refere-se a princípios gerais, aplicáveis em qualquer área de conhecimento, relativos à programação eficiente do conteúdo e identifica estes princípios como *diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, organização seqüencial e consolidação*.

Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa já foram discutidas antes. Quanto à organização seqüencial, a idéia é explorar ao máximo as dependências de natureza seqüencial existente na matéria (ou disciplina) para aumentar a disponibilidade de idéias-âncora relevantes para usar na aprendizagem significativa e retenção do material. Ausubel (2000) também argumenta que, insistindo na consolidação (ou mestria) do que está sendo estudado, antes da apresentação de novos materiais, assegura-se contínua prontidão na matéria de ensino e sucesso na aprendizagem seqüencialmente organizada.

Decorrente da aplicação dos princípios facilitadores discutidos nesta seção, o papel do professor envolve, minimamente, quatro tarefas fundamentais:

- Identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino (identificar os conceitos e organizá-los hierarquicamente de modo que, progressivamente, os mais inclusivos abranjam os menos inclusivos até chegar aos exemplos e dados específicos);
- Identificar quais subsunçores relevantes são necessários para a aprendizagem do conteúdo que vai ser discutido;
- Diagnosticar o que o estudante já sabe (determinar, dentre os subsunçores relevantes previamente identificados, quais os que estão disponíveis na estrutura cognitiva do estudante);
- Agregar ao processo de ensino-aprendizagem os recursos e princípios que facilitem a aquisição da estrutura conceitual da matéria de ensino de uma forma significativa, ou seja, o professor deve auxiliar o estudante a assimilar a estrutura da matéria e a organizar sua estrutura cognitiva nesta área de conhecimentos, por meio da aquisição de significados claros, estáveis e transferíveis.

## **2.8 Considerações finais do capítulo**

A teoria de Ausubel focaliza a aprendizagem significativa que explica o processo de aprendizagem como decorrente do desenvolvimento e aplicação de processos mentais. Mais especificamente, Ausubel se refere a *aprendizagem verbal significativa receptiva* (Ausubel, 2000). Cada

palavra nesta denominação reflete uma característica específica de sua teoria. *Verbal*, porque Ausubel considera a linguagem como importante facilitador da aprendizagem significativa; *receptiva* porque Ausubel considera que a aprendizagem significativa receptiva é o mecanismo humano por excelência para adquirir e armazenar a vasta quantidade de idéias e informações de qualquer campo de conhecimento. Ausubel argumenta, também, que o ensino em sala de aula é predominantemente organizado em termos de aprendizagem receptiva; desta forma o ser que aprende não precisa descobrir princípios, conceitos e proposições para aprendê-los e usá-los significativamente. Como fator importante, observa-se que a aprendizagem significativa é fundada na crença construtivista e, portanto, aprendizagem receptiva não é sinônimo de passiva, mas sim um processo cognitivo dinâmico.

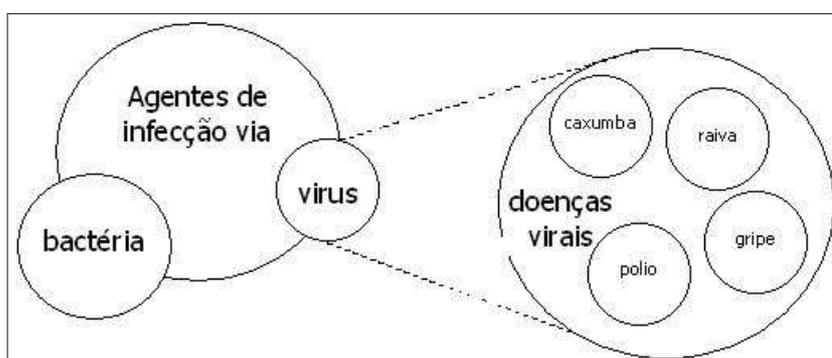
# Capítulo 3

## Mapas conceituais

### 3.1 Introdução

A teoria de Ausubel é sintetizada em poucos princípios, mas sua aplicação em sala de aula sem o uso de instrumentos pedagógicos auxiliares é extremamente complicada, sendo desconhecida qualquer tentativa neste sentido. São conhecidas 3 (três) ferramentas pedagógicas que foram desenvolvidas para viabilizar o seu uso : (i) o Círculo de Conceitos, (ii) o Diagrama em V e (iii) o Mapa Conceitual.

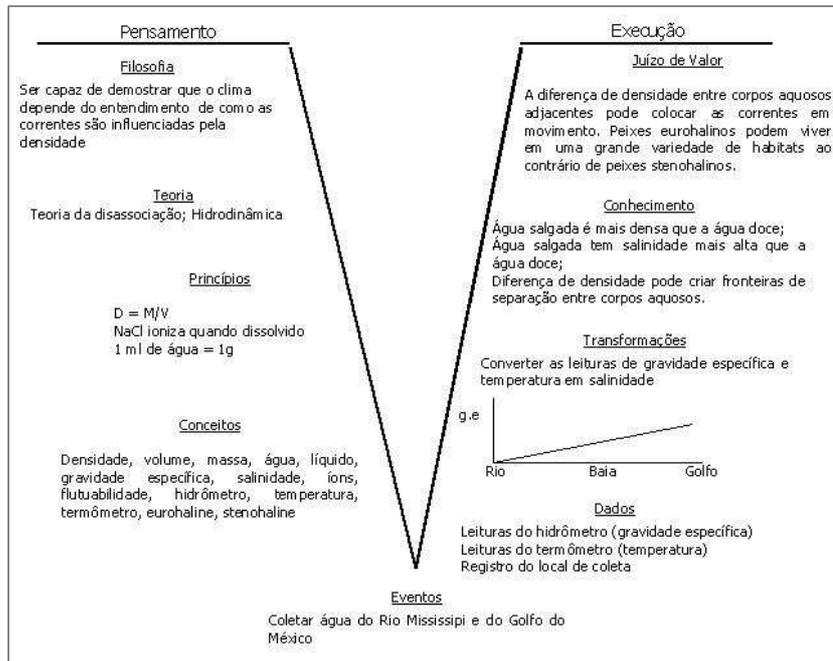
Círculo de Conceitos é uma ferramenta desenvolvida por James H. Wandersee (Trowbridge & Wandersee, 1998) para ajudar no processo de reflexão sobre o conhecimento construído, explorando parâmetros fisiológicos e psicológicos associados à aprendizagem visual e percepção visual (como por exemplo, o campo de visão humana, que é, aproximadamente, circular). A Figura 3.1 mostra um exemplo de um círculo de conceitos sobre doenças infecciosas.



**Figura 3.1** – Um Círculo de Conceitos sobre doenças infecciosas – Fonte: Trowbridge & Wandersee (1998)

O Diagrama em V, também chamado de V epistemológico ou V de Gowin, foi desenvolvido por D. Bob Gowin (Novak & Gowin, 1999) com a finalidade de auxiliar na aplicação dos princípios da aprendizagem significativa na resolução de problemas. Neste sentido, permite representar graficamente as atividades relevantes de um projeto, como a transformação de dados em

conhecimento, por exemplo. Seu uso mais comum tem sido em aulas práticas de laboratório de ciências. A Figura 3.2 mostra um exemplo de um V epistemológico.



**Figura 3.2** – V Epistemológico de uma atividade de laboratório sobre a densidade da água – Fonte: Trowbridge & Wandersee (1998)

Das 3 (três) ferramentas citadas, o mapa conceitual se tornou a mais importante, e mais popular, por suas múltiplas utilidades. O mapa conceitual foi desenvolvido por Joseph Donald Novak e seu grupo na Universidade de Cornell, em Ythaca, Nova York, e a origem foi uma pesquisa para estudar as mudanças no entendimento de conceitos científicos por parte dos estudantes, num período de 12 anos de escola (Novak, 1990).

Inspirado na teoria da assimilação de Ausubel (1968), Novak trabalhou com a idéia de que novos significados conceituais são adquiridos pela integração destes na estrutura cognitiva. Por isso, a tarefa relevante era como representar a estrutura cognitiva e as mudanças nela ocorridas.

Considerando as idéias adicionais presentes na teoria de Ausubel de que a estrutura cognitiva é organizada *hierarquicamente*, e que a maioria das novas aprendizagens ocorrem por *inclusão* de novos significados conceituais *sob* idéias já existentes, Novak desenvolveu a idéia de uma representação gráfica hierárquica de conceitos e proposições, que ficou conhecida como “mapa cognitivo” ou “mapa conceitual” (MC).

Este capítulo apresenta as características dos mapas conceituais no modelo proposto por Novak. Utilizado em aplicações computacionais, o MC pode ser desenhado com qualquer ferramenta gráfica que consiga representar os seus elementos constituintes. Entretanto, a tratabilidade computacional<sup>1</sup> de um MC impõe regras específicas para sua construção, dificilmente

<sup>1</sup>A expressão é usada aqui para caracterizar a geração e a análise automática de mapas conceituais.

disponíveis em ferramentas genéricas.

A descrição apresentada neste capítulo é inteiramente baseada no *CMEditor*, o editor de MCs da ferramenta *CMTTool* (Rocha & Favero, 2004) que foi especificamente desenvolvida para esta pesquisa. Em decorrência, os elementos constituintes, as regras sintáticas para combinação de elementos e o significado que pode ser atribuído às diversas construções são apresentados sob a ótica da ferramenta citada. O capítulo discute também os problemas que surgem a partir da não formalização dos MCs, sendo o principal deles a ambigüidade relacionada ao uso de linguagem natural.

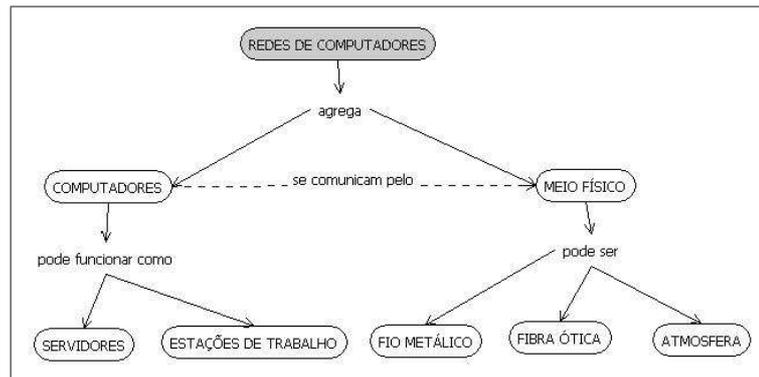
## 3.2 Mapas conceituais

Mapa Conceitual é um diagrama bi-dimensional que contém conceitos e proposições (ver Seções 2.2.2 e 2.2.3). Desenhar um MC é um processo de construção de conhecimento que coloca em prática os princípios teóricos descritos na teoria da assimilação: hierarquização de conceitos, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa (ver Capítulo 2). Ou seja, estes princípios teóricos são representados no artefato, na medida em que o MC vai sendo construído. A Figura 3.3 apresenta um mapa conceitual no modelo proposto por Novak. O MC contém os conceitos: {REDE DE COMPUTADORES, COMPUTADORES, MEIO FÍSICO, COMPUTADORES SERVIDORES, COMPUTADORES ESTAÇÕES DE TRABALHO, FIO METÁLICO, FIBRA ÓTICA, ATMOSFERA}

e as proposições:

{<REDES DE COMPUTADORES agrega COMPUTADORES>,  
<REDES DE COMPUTADORES agrega MEIO FÍSICO>,  
<COMPUTADORES podem funcionar como SERVIDORES>,  
<COMPUTADORES podem funcionar como ESTAÇÕES DE TRABALHO>,  
<MEIO FÍSICO pode ser FIO METÁLICO>,  
<MEIO FÍSICO pode ser FIBRA ÓTICA>,  
<MEIO FÍSICO pode ser ATMOSFERA>,  
<COMPUTADORES se comunicam pelo MEIO FÍSICO>}

Uma análise das proposições “escritas” neste pequeno mapa, mostra as dimensões nas quais os conceitos presentes se relacionam. Por exemplo, os conceitos REDES DE COMPUTADORES, COMPUTADORES e MEIO FÍSICO se relacionam numa dimensão de PARTIÇÃO (um relacionamento todo-parte), enquanto que COMPUTADORES, COMPUTADORES SERVIDORES e COMPUTADORES ESTAÇÃO DE TRABALHO compartilham um relacionamento do tipo CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL (computadores podem ser classificados pela função que desempenham na rede).



**Figura 3.3** – Um Mapa Conceitual sobre Rede de Computadores

Conceitos e proposições num MC concorrem para a formação de significados (semântica) e são desenhados a partir de regras que combinam os elementos gráficos (sintaxe), conforme se mostra a seguir.

### 3.2.1 Sintaxe dos MCs

#### 3.2.1.1 Representação de Conceitos

O *CMEditor* implementa uma linguagem visual centrada nos princípios da aprendizagem significativa. Os elementos de desenho da linguagem do editor estão mostrados na Tabela 3.1. Eles são suficientes para representar todas as situações de aprendizagem previstas na teoria de Ausubel.

**Tabela 3.1** – Elementos de desenho do *CMEditor*

Signo	Semântica
	Usado para representar conceitos abstratos
	Usado para representar exemplos
	Uma associação: Usado para representar hierarquias por diferenciação progressiva
	Um relacionamento: Usado para representar hierarquias por reconciliação integrativa, assim como aprendizagem combinatória
????	Usado em proposições envolvendo mais de dois conceitos (conjunção)

Do ponto de vista do editor, um conceito é composto de duas partes: uma parte gráfica e

uma parte textual.

Para a parte gráfica, a linguagem visual oferece dois símbolos: um retângulo com cantos arredondados para representar conceitos genéricos e um retângulo com cantos retos para representar exemplos. Na Figura 3.4(a) estão mostradas as duas possibilidades de representação: CÃO é um conceito genérico e REX é um exemplo de CÃO.

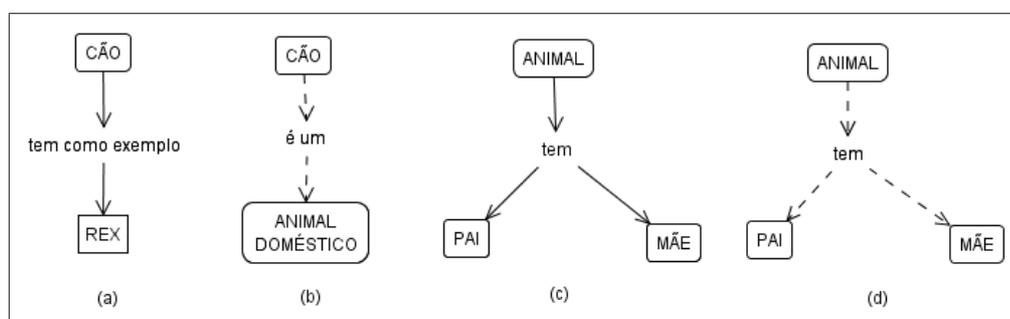


Figura 3.4 – Conceitos e Proposições no *CMEditor*

O uso de dois símbolos distintos para representar conceitos é necessário para permitir que a ferramenta computacional possa identificar com precisão num MC os conceitos abstratos e as suas instâncias (os exemplos), dado que estes são importantes para o esclarecimento dos significados representados no MC<sup>2</sup>.

A parte textual de um conceito, que junto com a parte gráfica forma o **significante**, é normalmente uma palavra classificada gramaticalmente como substantivo, adjetivo ou pronome, mas também pode ser **expressões conceituais** formadas por mais de uma palavra, como *mapas conceituais*, *animal tropical*, *relações sociais*, *ciências sociais*, *redes de computadores* e outras locuções semelhantes (Peña et al., 1996). Entretanto, a restrição quanto ao que pode ser ou não um conceito é dada pela definição de Ausubel (ou de Novak), e não pela classe gramatical das palavras.

### 3.2.1.2 Representação de Proposições

Sintaticamente, uma proposição é uma composição de 2 (dois) ou mais conceitos, mediada por palavras (ou frase) de enlace. Para “escrever” uma proposição, desenham-se os conceitos e, em seguida, desenha-se entre eles uma **associação**, que é uma linha cheia terminada por uma seta (Figura 3.4(a)), ou um **relacionamento**, que é uma linha pontilhada também terminada por uma seta (Figura 3.4(b)). Estas formas de unir conceitos têm significados diferentes, como está mostrado na Seção 3.2.2. Proposições também podem ser escritas com a ajuda de uma

<sup>2</sup>Novak sugere que os exemplos podem também contribuir com pontos para a formação da nota a ser atribuída a um MC (Novak & Gowin, 1999).

conjunção, que é um elemento gráfico que serve somente como auxiliar estético<sup>3</sup> (exemplos nas Figuras 3.4(c), (d)). Do ponto de vista cognitivo, associações servem para representar uma aprendizagem por diferenciação progressiva e relacionamentos para representar aprendizagem por reconciliação integrativa.

A hierarquia dos conceitos numa proposição é baseada no conceito de **inclusividade**. Ela é representada na linguagem visual pelo direcionamento da seta do relacionamento ou da associação ligando os conceitos. Por exemplo, na Figura 3.4(a) CÃO é mais inclusivo que REX, na Figura 3.4(b) CÃO é mais inclusivo que ANIMAL DOMÉSTICO e na Figura 3.4(c) ANIMAL é mais inclusivo que PAI e MÃE.

O uso da linguagem visual do *CMEditor* é diferenciada pela capacidade cognitiva e metacognitiva<sup>4</sup> dos usuários. Por isso, não se espera que jovens estudantes façam uso de todo o potencial da linguagem. Entretanto, o uso continuado da ferramenta pode levar a um nível de habilidade capaz de permitir o uso da linguagem em toda sua potencialidade.

## 3.2.2 Semântica dos MCs

### 3.2.2.1 Conceitos

Segundo Ausubel, há duas aprendizagens distintas de conceitos: aquela que ocorre na formação de conceitos e a que ocorre na assimilação de conceitos (ver Capítulo 2). Na fase de formação de conceitos, o estudante, muito jovem ainda, não dispõe de vocabulário que ele possa usar para enriquecer sua estrutura cognitiva. Para um estudante nesta fase da vida, o significante de um conceito será também o seu significado. Assim sendo, MÃE será sua própria mãe, PAI será seu próprio pai, e CACHORRO será o seu próprio cachorro.

Na fase de assimilação de conceitos, o significado de um conceito particular vai depender do seu grau de inclusividade dentro dos diferentes contextos de aprendizagem de uma disciplina. Por exemplo o conceito ADAPTAÇÃO adquire significados diferentes nas disciplinas GENÉTICA (aptidão), ECONOMIA (utilidade), CONTROLE (funções de erro) e TEORIA DE JOGOS (valor do resultado de um jogo) e, em cada uma delas, seu grau de inclusividade depende do contexto em que é usado.

Na aprendizagem significativa, grau de inclusividade significa a capacidade de um conceito de classificar outros conceitos, no mesmo contexto, em uma determinada dimensão. Ou seja, o grau de inclusividade define uma posição hierárquica única de um conceito no MC e mostra a forma como ele foi aprendido significativamente pelo estudante. Por exemplo, na

---

<sup>3</sup>Do ponto de vista da lógica, esta conjunção é do tipo *and*; conjunções do tipo *ou* são inaplicáveis em mapas conceituais

<sup>4</sup>Meta-cognição se refere à capacidade de *aprender a aprender*.

Figura 3.4(c), o conceito CÃO classifica o conceito ANIMAL DOMÉSTICO numa dimensão de DEFINIÇÃO<sup>5</sup>, ou seja, o que está escrito na linguagem visual do *CMEditor* é: CÃO é um tipo de ANIMAL DOMÉSTICO (tem os atributos de um animal doméstico). No caso, CÃO é mais inclusivo que ANIMAL DOMÉSTICO. Embora isto possa parecer contrário ao senso comum, ressalta-se que um MC não representa a lógica do senso comum, mas sim o significado psicológico armazenado na estrutura cognitiva de um estudante.

### 3.2.2.2 Proposições

Uma proposição é formada por dois conceitos, pela hierarquia que é estabelecida entre eles e pela dimensão semântica que relaciona verbalmente os conceitos e define o significado da idéia<sup>6</sup>.

Conforme observado por Cañas e seus colaboradores (2002), a formação do significado de uma proposição depende da frase de enlace que é escolhida para relacionar os conceitos<sup>7</sup>. Com efeito, a frase de enlace define a natureza da ligação entre os conceitos e a hierarquia que é estabelecida entre eles vai ser expressa por esta frase. Por exemplo, na Figura 3.4(c), a frase de enlace escolhida, *é um*, indica que a natureza da relação entre CÃO e ANIMAL DOMÉSTICO, neste contexto, pode ser do tipo DEFINIÇÃO ou do tipo CLASSIFICAÇÃO.

Frases de enlace, na forma como são usadas nos MCs construídos pelo *CMEditor*, podem ser consideradas **valores** atribuídos a uma relação binária que existe entre os conceitos de uma proposição. Estes valores podem ser organizados em hierarquias de **supertipos**, de acordo com a relação semântica (dimensão) que resultar de seu uso entre dois conceitos (Fisher, 1988). Esta categorização é importante para a análise automática de mapas e para a determinação do nível de similaridade entre proposições. Por exemplo nas proposições <CARRO tem RODAS> e <CARRO depende de COMBUSTÍVEL> as frases de enlace <tem> e <depende> são instâncias dos supertipos PARTIÇÃO e DEPENDÊNCIA. Na Figura 3.3 o conceito mais inclusivo é <REDES DE COMPUTADORES>. Ele se relaciona com os conceitos <COMPUTADORES> e <MEIO FÍSICO> numa dimensão de PARTIÇÃO.AGREGAÇÃO<sup>8</sup>.

<sup>5</sup>Neste exemplo, os requisitos de uma definição estão apenas parcialmente satisfeitos pois falta uma proposição que diferencie CÃO dos outros animais domésticos.

<sup>6</sup>Uma dimensão semântica aparece nos mapas conceituais representada por uma das frases de enlace que lhe estão associadas.

<sup>7</sup>Aqui, frase de enlace significa toda a cadeia que descreve completamente a relação entre os conceitos, e não somente a frase, como no exemplo: **assimetria.classificação.sentido\_direto.tem**, onde a parte destacada é a dimensão semântica e a palavra *tem* é a frase de enlace propriamente dita. Para mais detalhes ver Seção 5.3

<sup>8</sup>Esta notação representa uma sub-dimensão de PARTIÇÃO

### 3.2.2.3 Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa

Para detectar diferenciação progressiva num MC, é necessário observar se conceitos mais inclusivos são relacionados a conceitos menos inclusivos em uma ou mais dimensões. Na Figura 3.3, o conceito <REDES DE COMPUTADORES> está diferenciado progressivamente porque inclui semanticamente os conceitos COMPUTADORES e MEIO FÍSICO. Outros exemplos de diferenciação progressiva foram mostrados na Figura 2.6, na Seção 2.3.1.

Reconciliação integrativa, por outro lado, ocorre quando o estudante identifica dimensões de relacionamento entre conceitos ainda não conectados. Na **reconciliação integrativa subordinada**, o estudante identifica um conceito mais inclusivo e uma dimensão semântica para ligar este conceitos a outro(s) menos inclusivo(s) já presentes no MC. Este novo conceito pode ainda não estar presente no MC. A situação mostrada na Figura 2.8 é um exemplo deste tipo de aprendizagem.

**Reconciliação integrativa combinatorial** acontece quando o estudante percebe dimensões de relacionamentos entre conceitos que, dependendo da tarefa de aprendizagem em curso, não fazem parte de uma hierarquia que possa ser identificada. Exemplos deste tipo de aprendizagem foram apresentadas na Figura 2.6, na Seção 2.3.2. A detecção deste tipo de aprendizagem é feita a partir de uma leitura das ligações transversais do MC submetido.

A análise computadorizada da sintaxe e da semântica de um mapa conceitual pode apresentar resultados duvidosos, caso o MC contenha ambigüidades gráficas ou textuais. No caso específico de usar MCs na avaliação da aprendizagem, a análise estrutural automática pressupõe a existência de MCs completamente computáveis, sendo que o processo de análise deve ser capaz de enfrentar o problema gerado pela natureza inerentemente ambígua da linguagem natural usada na construção dos mapas.

## 3.3 Ambigüidade em Mapas Conceituais

Mapas Conceituais representam a estrutura cognitiva de um indivíduo (McAleese et al., 1999; Novak & Gowin, 1999; Peña et al., 1996). Como mencionado em McAleese et al. (1999), há uma forte evidência que as representações mentais usadas por humanos para pensar são significativamente independentes de (e não baseadas em) linguagem natural. Ao contrário, as pessoas pensam usando imagens mentais e representações básicas (esqueletos) de idéias. Não obstante, a linguagem natural humana é a principal ferramenta usada no mapeamento conceitual e, por isso, os conceitos e as proposições de um MC estão sujeitos à ambigüidade.

A ambigüidade resultante do processo de mapeamento conceitual torna mais difícil a análise automática e a avaliação da aprendizagem por meio de MCs. Embora esta ambigüidade possa

ocorrer tanto na escrita de conceitos como na de proposições, as últimas merecem atenção especial, dada a importância do processo cognitivo de ligar conceitos ao construir MCs.

O processo de ligar conceitos através de frases de enlace é crítico por causa do esforço feito pelo estudante na sua tentativa de determinar exatamente a natureza da relação entre os conceitos (Jonassen, 1996). A Figura 3.5 apresenta um exemplo de ambigüidade proposicional, considerando que os conceitos estão determinados sem qualquer ambigüidade.

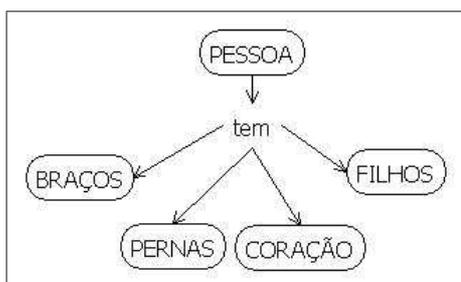


Figura 3.5 – MC com uso ambíguo da frase enlace <tem>

Na proposição <PESSOA tem BRAÇOS> a dimensão que o estudante provavelmente quer expressar é a de PARTIÇÃO, conectando e expandindo os conceitos PESSOA e BRAÇOS. Por outro lado, na proposição <PESSOA tem FILHOS>, a idéia subjacente não é a de uma dimensão de PARTIÇÃO, mas sim uma dimensão de PROLE, TUTELA ou CURADORIA. A análise computadorizada de um MC como este teria que lidar com esta ambigüidade para poder avaliar com segurança a aprendizagem representada.

No exemplo da Figura 3.5, a natureza (supertipo) da frase de enlace pode ser inferida a partir dos pares de conceitos conectados e do contexto (tarefa de aprendizagem) sob análise. Isto pode ser feito por um algoritmo de detecção de ambigüidade capaz de informar a dimensão que melhor se adequa à proposição (usando probabilidades, por exemplo). Entretanto, MCs mais complexos são bastante difíceis de analisar se a análise não for apoiada por alguma forma de sistematização das possíveis dimensões de inclusividade. A Figura 3.6 mostra um exemplo de uso ambíguo de uma frase de enlace num domínio mais complexo que aquele da Figura 3.5.

As proposições <REDE NEURAL ARTIFICIAL consiste de CAMADAS DE NEURONIOS> e <REDE NEURAL ARTIFICIAL consiste de NEURÔNIOS MODELADOS MATEMATICAMENTE> não expressam exatamente a mesma idéia: os elementos básicos de uma “rede neural artificial” são os “neurônios”, que são usualmente organizados em camadas. Assim sendo, um sistema computadorizado tradicional, projetado para avaliar o entendimento do autor do mapa, não conseguiria discernir se ele entende que a dimensão do relacionamento entre “redes neurais” e “neurônios” é do tipo PARTIÇÃO.AGREGAÇÃO e entre “redes neurais” e “camadas” é do tipo PARTIÇÃO.ORGANIZAÇÃO. Neste caso, um mecanismo para contornar a ambigüidade poderia usar informação contextual (extraída dos conceitos vizinhos no mapa ou do contexto

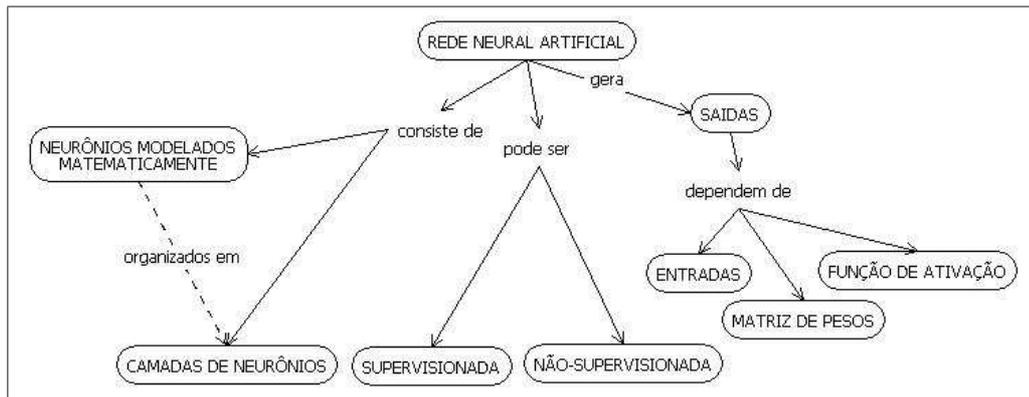


Figura 3.6 – MC com uso ambíguo da frase enlace <consiste>

da aprendizagem em curso) para deduzir o real significado da frase de enlace. Outra solução possível seria solicitar informações adicionais ao autor do mapa. Esta informação adicional poderia ser a explicitação da natureza (supertipo) da frase de enlace usada. Contudo, em ambos os casos, o passo inicial é criar categorias de frases de enlace, seja para usar em um mecanismo automático, seja para explicação adicional do estudante.

### 3.4 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo foram apresentados os mapas conceituais, uma ferramenta pedagógica desenvolvida por J. D. Novak, na década de 60 do século passado, para facilitar a aplicação da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, uma teoria educacional que se funda na crença construtivista. Esta é uma idéia com popularidade em alta nos tempos atuais, devido à crescente percepção de falência da escola moldada em termos behavioristas.

Em tempos mais recentes, os mapas conceituais tem sido reconhecidos como úteis para tarefas tão diferentes como ensino, aprendizagem, avaliação da aprendizagem, planejamento curricular (Moreira & Buchweitz, 1987) e representação de conhecimento em geral (Novak, 1998a). Sua importância cresce na proporção em que estas possibilidades de uso são mostradas e, principalmente, porque aprendizagem significativa, na prática, não existe sem mapas conceituais, devido à grande dificuldade de aplicar, sem uma ferramenta gráfica que os represente ou reproduza, fundamentos teóricos como *ancoragem*, *aprendizagem superordenada*, *diferenciação progressiva* e *reconciliação integrativa* (ver Capítulo 2).

Mapas conceituais têm sido usados, em aplicações de papel e caneta e até em aplicações de computador, de maneira quase informal. Como é indispensável o uso da linguagem natural para construir um MC, a ambigüidade decorrente é uma importante fonte de imprecisão no significado que é representado. Ambígua pode ser também a expressão gráfica de um conceito ou uma proposição no MC. Por isso, a proposta de usar MCs para avaliar a aprendizagem coloca

um nível de exigência para o tratamento computacional que para ser suportado precisa de uma solução prática para dois aspectos essenciais da aprendizagem significativa:

- a formalização do conceito de inclusividade, porque ele define a natureza semântica dos relacionamentos entre conceitos; e
- a representação gráfica não ambígua dos alicerces teóricos de um MC: estrutura hierárquica, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.

As soluções propostas para estes problemas nesta tese envolvem dois mecanismos distintos: *uma gramática de inclusividade* e *uma linguagem visual*.

A gramática de inclusividade será apresentada no Capítulo 5. Ela permite formalizar o conceito de inclusividade; sua implementação é uma taxonomia de frases de ligação. Como será visto, a gramática é aberta, sendo possível instanciá-la para qualquer disciplina e até modificar suas definições gerais para refinar o nível de granularidade do relacionamento entre conceitos e de proximidade semântica entre proposições.

A linguagem visual do *CMEditor* foi apresentada neste capítulo. (ver Tabela 3.1). Ela consiste de símbolos básicos para representar conceitos e relações entre conceitos. Pela combinação de seus símbolos básicos, é possível representar, com correção sintática e semântica, a estrutura hierárquica de um MC e as aprendizagens por diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. O desenvolvimento destes dois mecanismos representam um passo importante para a disseminação da idéia sobre o uso formal de MCs em qualquer atividade intelectual cuja finalidade seja a construção de conhecimento.

Discutindo os fundamentos epistemológicos dos mapas conceituais, Novak afirma que o processo de aprendizagem significativa é o mesmo processo usado por cientistas para construir conhecimentos novos e mapas conceituais são ferramentas gráficas para organizar e representar tais conhecimentos. Na sua visão, a construção do conhecimento é tão somente um nível relativamente alto de aprendizagem significativa (Novak, 2002). Ampliando o significado desta idéia de Novak, considera-se que a prática educativa baseada na aprendizagem significativa traz para a sala de aula a *iniciação científica continuada* desde cedo na vida escolar do estudante, assentando as bases para a excelência na vida acadêmica e profissional.

# Capítulo 4

## Revisão da Literatura sobre avaliação da aprendizagem

### 4.1 Introdução

Em 1956 Benjamin S. Bloom publica, como editor, sua taxonomia de objetivos educacionais (Engelhart et al., 1956). No contexto dessa obra, objetivos educacionais são mudanças que se espera que ocorram com os estudantes em decorrência de sua interação com o processo educativo. Como consequência dessa definição, o ensino, a aprendizagem e sua avaliação<sup>1</sup> podem então ser planejados em termos destes objetivos<sup>2</sup>. Apesar de terem decorridos mais de 50 anos desde seu surgimento, a taxonomia de Bloom continua sendo uma importante referência educacional, o que é atestado pela obra de Airasian e seus colegas que a revisaram à luz de conhecimentos surgidos na pedagogia e na psicologia educacional nos últimos anos (Airasian et al., 2001), e pelos trabalhos de muitos outros pesquisadores como Krathwohl (1994), Chung (1994), Lewy & Bathory (1994), Postlethwaite (1994) e Shane (1981).

Do ponto de vista da avaliação da aprendizagem, o que tem sido proposto para implementar a taxonomia é uma categorização geral das formas de avaliação - questões abertas e fechadas - que desdobradas em tipos específicos de testes permitem cobrir todas as formas de processos cognitivos propostos originalmente por Bloom e seus colegas (Airasian et al., 2001).

Com o avanço das idéias construtivistas no ambiente educacional, novas formas de capturar o conhecimento conceitual aparecem; em particular, apoiado na teoria de Ausubel-Novak, o desenvolvimento dos mapas conceituais fornece uma maneira eficaz de capturar o conhecimento estrutural que é organizado ao redor dos conceitos fundamentais de uma disciplina ou domínio de conhecimento. A necessidade de avaliar este conhecimento de modo mais preciso leva, ini-

---

<sup>1</sup>No restante deste capítulo, os termos “avaliação da aprendizagem” e “avaliação” serão usados com o mesmo significado.

<sup>2</sup>Neste capítulo, *objetivo* se refere a *objetivos educacionais*, a menos que dito o contrário.

cialmente, a uma tentativa de adequação das ferramentas existentes (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996). Mas, como a prática tem mostrado, a simples aplicação de questões abertas e fechadas é insuficiente para avaliar este tipo de conhecimento em toda a sua plenitude, sendo necessário novas pesquisas nesta direção.

Uma constatação manifestada com frequência no contexto da educação escolar é que a avaliação da aprendizagem é um processo que sobrecarrega muito o professor, seja pela quantidade de trabalhos a serem corrigidos, seja pela complexidade que envolve as tarefas de aprendizagem<sup>3</sup>. A introdução dos computadores no ambiente educacional alivia esta sobrecarga ao permitir a correção automática das tarefas de aprendizagem. Mas, como será visto, o processo automático de avaliação é ainda imperfeito, dependendo do avanço da pesquisa em outras áreas para sua melhoria.

Este capítulo traça um panorama geral sobre a questão da avaliação da aprendizagem na escola. Na Seção 4.2 é feito um resumo do processo educacional e seus objetivos, na ótica da Bloom, e a Seção 4.3 discute brevemente como usar a taxonomia para avaliar a aprendizagem. Na sequência, a Seção 4.4 relata como formalizar o uso de mapas conceituais na avaliação da aprendizagem e, finalmente, a Seção 4.5 apresenta o estado da arte das formas de avaliação com a correção mediada pelo computador.

## 4.2 O Processo Educacional e Seus objetivos

A Tabela 4.1 apresenta uma visão atual da taxonomia de Bloom<sup>4</sup>. Suas linhas e colunas contêm categorias de conhecimentos e de processos cognitivos, respectivamente. As células da tabela, a interseção destas duas *dimensões*, são os locais onde devem ser colocados os objetivos. Assim sendo, objetivos educacionais incluem, simultaneamente, um tipo de conhecimento e um tipo de processo cognitivo.

---

<sup>3</sup>A introdução do processo de Educação a Distância complica mais ainda a vida do professor na medida em que a quantidade de alunos chega a ser centenas de vezes maior que nas classes presenciais.

<sup>4</sup>Esta visão moderna da taxonomia incorpora novos desenvolvimentos da pesquisa educacional, especialmente aqueles ocorridos na psicologia cognitiva desde a publicação original em 1956 (Airasian et al., 2001)

**Tabela 4.1** – Visão atual da taxonomia de Bloom - Fonte: Airasian et al. (2001)

TIPOS DE CONHECIMENTO	TIPOS DE PROCESSOS COGNITIVOS					
	Lembrar	Entender	Aplicar	Analisar	Avaliar	Criar
Conhecimento Factual						
Conhecimento Conceitual						
Conhecimento Procedural						
Conhecimento Meta-Cognitivo						

As categorias de conhecimento e de processo cognitivo mostradas na Tabela 4.1 podem ser detalhadas pela introdução dos subtipos respectivos. Este detalhamento ajuda a compreender como se pode avaliar a aprendizagem tendo como base esta taxonomia. As Tabelas 4.2 e 4.3, respectivamente, apresentam uma síntese dos subtipos destas duas categorias.

**Tabela 4.2** – Tipos e subtipos da dimensão conhecimento - Adaptado de Airasian et al. (2001)

TIPOS DE CONHECIMENTO	EXEMPLOS
<b>A. CONHECIMENTO FACTUAL</b>	Os elementos básicos que o estudante deve saber para se familiarizar com uma disciplina ou resolver problemas nela
AA. Conhecimento de terminologias	Vocabulário técnico, símbolos musicais
AB. Conhecimento de detalhes específicos e elementos	Principais recursos naturais, fontes de informação confiáveis
<b>B. CONHECIMENTO CONCEITUAL</b>	As interrelações entre os elementos básicos dentro de uma estrutura maior que permitem que eles funcionem juntos
BA. Conhecimento de classificações e categorias	Períodos do tempo geológico, formas de empreender
BB. Conhecimento de princípios e generalizações	Teorema de Pitágoras, lei da demanda e oferta
BC. Conhecimento de teorias, modelos e estruturas	Teoria da Evolução das espécies, estrutura do congresso nacional, estrutura animal e vegetal
<b>C. CONHECIMENTO PROCEDURAL</b>	Como fazer algo, métodos de investigação, e critérios para o uso de habilidades, algoritmos, técnicas e métodos
CA. Conhecimento de habilidades específicas e algoritmos	Habilidades usadas para pintar com tinta óleo, algoritmo da divisão de inteiros
CB. Conhecimento de métodos e técnicas específicas de determinado assunto	Técnicas de entrevista, método científico
CC. Conhecimento de critérios que sejam determinantes para a escolha de procedimentos apropriados	Crítérios usados para determinar quando aplicar um procedimento envolvendo uma busca em grafos, critérios usados para julgar a possibilidade de usar um determinado método para estimar os custos de uma empresa
<b>D. CONHECIMENTO METACOGNITIVO</b>	Conhecimento sobre a cognição em geral, sobre a consciência e sobre seus próprios processos cognitivos
DA. Conhecimento Estratégico	Conhecimento sobre técnicas de sumarização e seu uso na captura da estrutura de uma unidade num livro escolar, conhecimento do uso de heurísticas
DB. Conhecimento sobre tarefas cognitivas, incluindo conhecimento contextual e condicional	Conhecimento de tipos de testes, conhecimento das demandas cognitivas de diferentes tarefas

TIPOS DE CONHECIMENTO	EXEMPLOS
Dc. Autoconhecimento	Consciência do seu próprio nível de conhecimento

**Tabela 4.3** – Categorias da dimensão processo cognitivo e processos cognitivos relacionados - Adaptado de Airasian et al. (2001)

CATEGORIAS DE PROCESSO	EXEMPLOS
<b>1. LEMBRAR</b>	Recuperar conhecimento da memória de longo-prazo
1.1 Reconhecimento	Reconhecer datas de eventos importantes da História do Brasil
1.2 Relembração	Relembrar datas de eventos importantes da História do Brasil
<b>2. ENTENDER</b>	Construir significados a partir de mensagens instrucionais, incluindo a comunicação oral, escrita e gráfica
2.1 Interpretação	Parafrasear documentos e discursos importantes
2.2 Exemplificação	Dar exemplos de vários métodos de busca em grafos
2.3 Classificação	Classificar casos de desordem mental descritos ou observados
2.4 Resumo	Escrever resumos de eventos assistidos em vídeo-teipes ou de aulas
2.5 Inferência	No estudo de línguas estrangeiras, inferir princípios gramaticais a partir de exemplos
2.6 Comparação	Comparar eventos históricos à situações contemporâneas
2.7 Explicação	Explicar as causas da pobreza do terceiro mundo
<b>3. APLICAR</b>	Levar a cabo ou usar um procedimento em determinada situação
3.1 Execução	Dividir dois números inteiros, ambos com múltiplos dígitos
3.2 Implementação	Construir um algoritmo para fazer uma busca em largura em grafos
<b>4. ANALISAR</b>	Dividir o material nas suas partes constituintes e determinar como estas partes se relacionam entre si e a uma estrutura geral
4.1 Diferenciação	distinguir aspectos relevantes e irrelevantes numa modelagem de dados
4.2 Organização	Numa descrição histórica estruturar as evidências a favor e contra determinada posição política
4.3 Atribuição	Determinar o ponto de vista do(a) autor(a) de um ensaio em termos de sua perspectiva política
<b>5. AVALIAR</b>	Fazer julgamentos baseados em critérios e padrões
5.1 Checagem	Determinar se as conclusões de um artigo científico está de acordo com os dados observados
5.2 Crítica	Julgar qual dos métodos disponíveis é o melhor para resolver um dado problema
<b>6. CRIAR</b>	Juntar elementos para para formar um todo coerente e/ou funcional; reorganizar elementos em um novo padrão ou estrutura
6.1 Geração	Gerar hipóteses que possam auxiliar na explicação de um fenômeno observado
6.2 Planejamento	Planejar a estruturação a e escrita de um artigo científico sobre determinado tópico
6.3 Produção	Construir habitats para certas espécies para determinados propósitos

A Figura 4.1 ilustra como achar a posição de um objetivo na taxonomia, partindo da sua declaração. O processo passa pela identificação do verbo e da locução nominal no objetivo

declarado. O verbo é examinado no contexto da dimensão *processo cognitivo*, e a locução nominal (ou substantivo simples) é examinado no contexto da dimensão *conhecimento*.

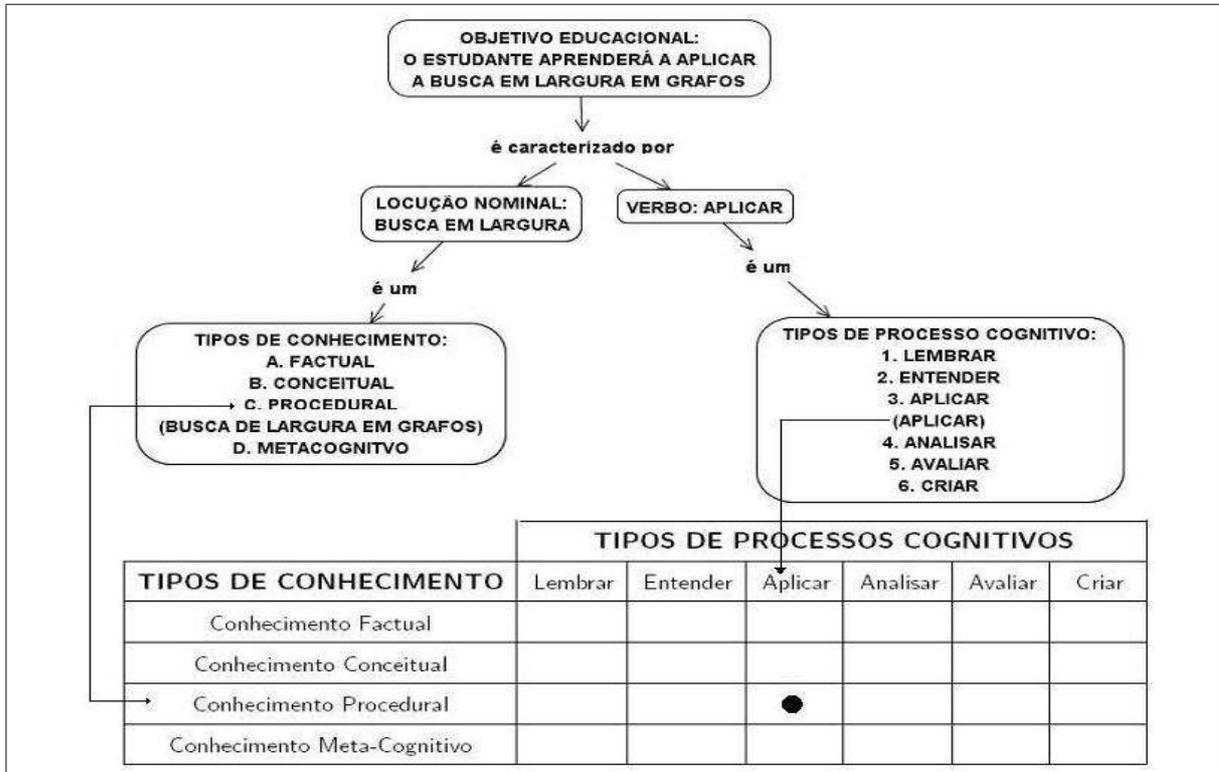


Figura 4.1 – Classificação de um objetivo na tabela taxonômica

### 4.3 A Taxonomia de Bloom e a Avaliação da Aprendizagem

Segundo Shrock & Coscarelli (2000) o que está em jogo na avaliação da aprendizagem são os processos cognitivos que o estudante desenvolve para construir (ou capturar) os tipos de conhecimento que são colocados em cada objetivo educacional de uma unidade de ensino. Neste sentido, os tipos de conhecimento representam referências para os tipos de processo cognitivo que podem ser desenvolvidos. O domínio destes processos cognitivos por parte do estudante pode ser avaliado por meio de questões classificadas em categorias diversificadas de exames ou testes. No nível mais geral, estes tipos de teste podem representar: (i) questões fechadas; (ii) questões abertas.

Questão fechada é aquela que não requer do estudante a construção de uma resposta. Ao contrário, a resposta já vem pronta e a(s) opção(ões) certa(s) é(são) escolhida(s) numa lista. Esta categoria de questões serve para avaliar a habilidade do estudante de reconhecer a resposta e, portanto os processos cognitivos que são testados são aqueles associados ao reconhecimento (ver Tabela 4.3). Os tipos de questões normalmente reconhecidas como questões fechadas são: (i) Verdadeiro/Falso; (ii) Combinação; (iii) Múltipla escolha.

Por outro lado, questão aberta é aquela para a qual o estudante deve produzir uma resposta escrita. Este tipo de questão, normalmente, avalia a habilidade do estudante de lembrar de coisas, eventos ou processos, de modo a registrar suas características na resposta que ele deverá produzir. Neste caso, os processos cognitivos que são testados são os associados à lembrança, ou relembração (ver Tabela 4.3). As categorias de questões normalmente reconhecidas como questões abertas são: (i) Resposta-curta; (ii) Ensaio.

A Tabela 4.4 apresenta uma síntese dos trabalhos de Morrison e seus colegas (Morrison et al., 2001), de Shrock & Coscarelli (2000) e de outros pesquisadores (Airasian et al., 2001). Objetiva-se ilustrar a associação entre as idéias de Bloom e sua aplicação prática na avaliação da aprendizagem: sob a coluna *USADO PARA* especificam-se os tipos de conhecimentos que são mais apropriados para serem avaliados com o tipo de questão e sob a coluna *COGNIÇÃO* apontam-se os processos cognitivos correspondentes.

**Tabela 4.4** – Aplicação da taxonomia de Bloom na avaliação da aprendizagem

<b>QUESTÃO</b>	<b>VANTAGEM</b>	<b>DESvantAGEM</b>	<b>USADO PARA</b>	<b>COGNIÇÃO</b>
<b>Verdadeiro/Falso:</b> apresenta uma declaração ao estudante para ele decida se ela é verdadeira ou falsa	São fáceis de escrever e podem ser corrigidas automaticamente	Limitadas em relação ao que podem avaliar; alta probabilidade de acerto na <i>adivinhação</i> (50%)	Informação factual dicotômica; e/ou na natureza: macho/fêmea, analógico/digital	Processos cognitivos nas dimensões: <i>Lembrar</i> e <i>Entender</i>
<b>Combinação:</b> envolve listas pareadas requerendo ao estudante identificar as relações cruzadas entre os itens	Avalia conhecimentos diferentes na mesma página; pequena probabilidade de acertar na <i>adivinhação</i> ; as listas podem ter tamanhos diferentes e incluir <i>ruídos</i>	Avalia principalmente o reconhecimento	Relacionamento de informações: estados e capitais, ferramentas e usos, eventos e datas, o todo e suas partes	Processos cognitivos na dimensões: <i>Lembrar</i> e <i>Entender</i>
<b>Múltipla-escolha:</b> o estudante deve identificar a resposta da questão numa lista; na maioria das vezes há uma resposta correta e vários <i>ruídos</i> ; questões podem ser: sentenças incompletas, declarações ou cenários complexos	São as mais versáteis da classe <i>questões fechadas</i> ; podem envolver cenários muito elaborados requerendo da parte do estudante muita atenção; a probabilidade de adivinhar a resposta é baixa	Muito mais difícil de escrever do que <b>combinação</b> e <b>verdadeiro-falso</b> ; requerem a criação de <i>ruídos</i> plausíveis; testam principalmente o reconhecimento	Avaliam Conhecimento factual, conceitual e procedural	Processos cognitivos na dimensões: <i>Lembrar</i> , <i>Entender</i> , <i>Aplicar</i> e <i>Analisar</i>
<b>Resposta-curta:</b> questões abertas que requerem do estudante criar uma resposta: de uma palavra a poucas sentenças; exemplos podem ser “preencher os brancos” e “completar”	Testam a lembrança de conhecimentos sem qualquer assistência adicional; comparado com as questões do tipo <i>ensaio</i> , são fáceis de escrever	Aplicáveis somente a questões que possam ser respondidas com respostas curtas; a liberdade do estudante na forma de responder pode gerar dificuldades na correção	Questões que requerem lembrança; exemplos: correção ortográfica, informações médicas e biológicas	Processos cognitivos na dimensões: <i>Lembrar</i> , <i>Entender</i> e <i>Aplicar</i>

QUESTÃO	VANTAGEM	DESvantAGEM	USADO PARA	COGNIÇÃO
<b>Ensaio:</b> questões abertas que requerem do estudante criar uma resposta: de poucos parágrafos a muitas páginas; exemplos podem ser redação, artigo científico, dissertações e teses	Único tipo de questão que pode avaliar eficazmente todos os níveis de aprendizagem da taxonomia de Bloom; permite ao estudante expressar seus pensamentos e opinar	Consumo de tempo e consistência na correção; a correção pode ser difícil devido à variabilidade das respostas e ao efeito <i>halo</i> : forte habilidade para escrever <i>versus</i> fraco domínio da matéria	Avaliação que não possa ser realizada por outros tipos de questões; é o único tipo de questão que pode avaliar eficazmente os níveis mais elevados de aprendizagem	Processos cognitivos na dimensões: <i>Lembrar, Entender, Aplicar, Analisar, Avaliar e Criar</i>

## 4.4 Avaliação da aprendizagem com mapas conceituais

No trabalho pioneiro de Novak (1984), a questão da avaliação da aprendizagem surge inicialmente apenas como apreciação das alterações qualitativas na estrutura dos mapas conceituais criados pelos estudantes. Mas, embora considerada inicialmente irrelevante, a cultura da pontuação acabou por se impor também, tendo Novak desenvolvido critérios para avaliação quantitativa de mapas conceituais baseados na teoria da aprendizagem de Ausubel, da qual ele emprestou as idéias fundamentais de subsunção, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. A estrutura hierárquica dos mapas conceituais - um conceito mais inclusivo superordena um conceito menos inclusivo - incorpora o conceito de subsunção: há aprendizagem significativa quando uma nova informação é relacionada e integrada sob conceitos mais abrangentes e gerais (Ausubel, 2000). A diferenciação progressiva da teoria de Ausubel - mostrada nos mapas conceituais como uma coleção de proposições originadas no mesmo conceito - estabelece que a aprendizagem significativa é um processo contínuo, no qual novos conceitos adquirem maior significado à medida que eles participam de um número cada vez maior de novas relações. A reconciliação integrativa para Ausubel determina que a aprendizagem significativa é melhorada quando o estudante reconhece novas relações conceituais entre conjuntos de conceitos ou proposições. Nos mapas conceituais reconciliação integrativa é a finalização do processo de mapeamento: determinação de ligações entre ramos diferentes ou a introdução de níveis intermediários de inclusividade entre dois ou mais nós pré-existentes. Facultativamente, Novak admite o uso de um mapa de referência para comparar com os mapas produzidos pelos estudantes, mas aponta para os problemas que podem decorrer desta prática, principalmente o perigo que se corre de ignorar pontos de vista criativos ou formas imprevistas de considerar o mesmo tema.

Segundo Anderson (1984), estrutura é a propriedade fundamental do conhecimento. Assumindo que o conhecimento de um domínio é organizado ao redor de determinados conceitos centrais, para ser perito neste domínio o estudante precisa desenvolver uma estrutura conceitual fortemente integrada a estes conceitos. Esta integração aumenta pela aprendizagem, pelo treinamento ou pela experiência. Várias abordagens representacionais têm sido propostas para capturar esta propriedade organizacional do conhecimento (Goldsmith et al., 1991; Novak & Gowin, 1984; Novak et al., 1983). Entre estas abordagens, mapas conceituais é aquela

mais diretamente dirigida para capturar o interrelacionamento dos conceitos de um domínio. Por esta razão, a dimensão da estrutura do conhecimento que pode ser avaliada por meio de mapas conceituais é única em comparação com técnicas convencionais de avaliação da aprendizagem (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996; Zeilik et al., 1997).

Em razão destas características, a avaliação da aprendizagem mediada por mapas conceituais pode ser pensada como um conjunto de procedimentos que objetivam medir importantes aspectos da estrutura cognitiva de um estudante. Ruiz-Primo & Shavelson (1996) caracterizaram a avaliação da aprendizagem em termos de:

- a. Uma *tarefa de avaliação* que estimula o estudante a mostrar detalhes da estrutura de seu conhecimento em determinado domínio;
- b. Um *formato para a resposta* do estudante;
- c. Um *modelo de correção* por meio do qual o MC do estudante pode ser avaliado com precisão e consistência.

O relacionamento entre os componentes de uma avaliação mediada por MCs é mostrado na Figura 4.2. Sua análise mostra que *tarefas de avaliação* estimulam o estudante a externar a sua resposta, e exercem influência na produção desta resposta. A garantia da validade das conexões mostradas nesta figura é fundamental para que este modelo de avaliação funcione. Por exemplo, a tarefa de avaliação não pode induzir o estudante a responder de um modo que seja irrelevante ou limitada, pois neste caso o *constructo* - seu MC - seria mal avaliado pelo *método de correção da resposta*, não em função do conhecimento demonstrado, mas devido a má formulação da *tarefa de avaliação*. As outras conexões mostradas na Figura 4.2 se prestam a análises semelhantes a esta.

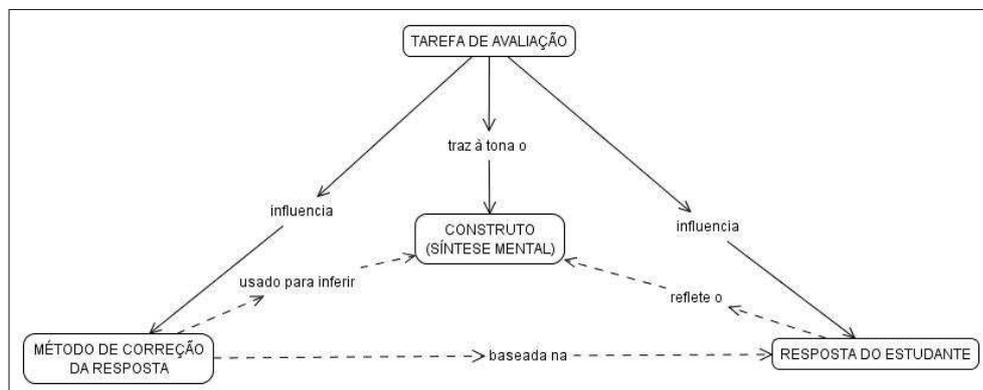
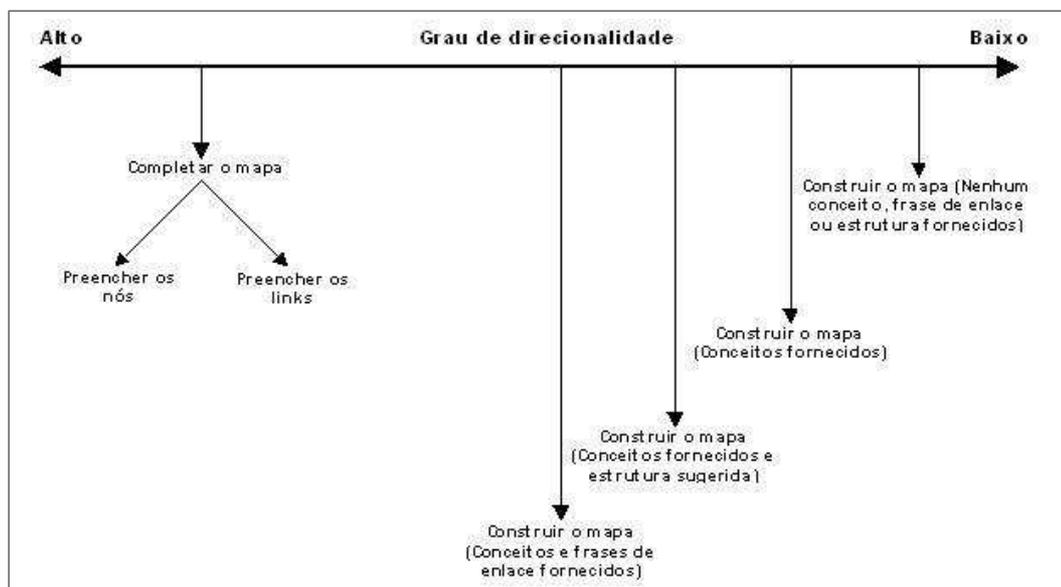


Figura 4.2 – Componentes da avaliação da aprendizagem - adaptado de Ruiz-Primo & Shavelson (1996)

Para colocar em prática um sistema de avaliação mediada por mapas conceituais baseado neste modelo é necessário determinar a natureza de cada componente do modelo. Segundo

Ruiz-Primo (2004) o componente *tarefa de avaliação* pode ser caracterizado por técnicas de mapeamento diferentes, selecionadas ao longo de um *continuum*, ou seja, para tarefas de alto grau de direcionalidade - tipo *fill-in-the-map* - são fornecidos ao estudante os conceitos, as conexões entre os conceitos, as frases de enlace e a estrutura do mapa; em contraste, para tarefas de baixa direcionalidade - tipo *construct-a-map* - os estudantes ficam livres para decidir quantos e quais conceitos colocar no mapa, quais conceitos são relacionados e que palavras de enlace usar para explicar a relação entre conceitos relacionados. Pesquisas comprovam que diferentes técnicas de mapeamento fornecem informações diferentes sobre a aprendizagem (Ruiz-Primo et al., 1996, 2001). Rice e seus colegas (1998) sugerem também que diferentes métodos de avaliação baseados na mesma técnica podem trazer à tona, para serem avaliados, diferentes *constructos* de aspectos do domínio<sup>5</sup>. A Figura 4.3 mostra alguns pontos do *continuum* que podem ser usados para exercitar diferentes técnicas de mapeamento.



**Figura 4.3** – Técnicas de mapeamento conceitual escolhidas em diferentes pontos do *continuum* - adaptado de Ruiz-Primo (2004)

A Tabela 4.5, adaptada do trabalho de Ruiz-Primo (2004), representa um *framework* que evidencia alguns aspectos da natureza das tarefas de avaliação, dos formatos de resposta e do sistema de avaliação. Ela mostra que para dimensionar as demandas cognitivas associadas às diferentes técnicas de mapeamento usadas para avaliar a aprendizagem é necessário levar em conta não só o que é provido ao estudante, mas também a quantidade/extensão do que é provido, a significância/relevância do que é provido e o que é requerido do estudante.

<sup>5</sup>O que pode diferenciar métodos de avaliação dentro da mesma técnica está ligado ao que é provido ao estudante - a quantidade do que é provido, a significância do que é provido - e o que é requerido do estudante.

**Tabela 4.5** – Natureza das tarefas de avaliação, dos formatos de resposta e do sistema de avaliação - Adaptado de Ruiz-Primo (2004)

Componentes do Sistema de Avaliação		Componentes de Mapas Conceituais								
		Conceitos		Linhas de Ligação		Frases de Ligação		Estrutura		
<b>A Resposta</b>	<b>A Tarefa</b>									
Construir o mapa	O que é provido	Não providos	Providos	Não Providas	Providas	Não Providas	Providas	Não Provida	Provida	
	Quanto é provido		Poucos		Poucas		Poucas		Parcial	
			Todos		Todas		Todas		Completa	
	Relevância do que é provido		Termos-chave		Muito relevante		Sentido completo		Muito relevante	
			Relacionados, mas não Termos-chaves		Não relevante		Sentido superficial		Relacionada, mas não relevante	
	O que é requerido	Poucos Termos	Prover Termos	Termos-chave	Poucas Linhas	Linhas Mais Relevantes	Poucas Frases	Prover Frases	Frases com significado completo	Estrutura Livre
Preencher o mapa		Todos Termos	Selecionar Termos	Relacionados, mas não Termos-chave	Todas Linhas apropriadas	Todas Linhas relevantes	Todas Frases	Selecionar Frases	Frases Superficiais	Estrutura Específica
		<b>O Sistema de Avaliação</b>								
	Uso de um mapa de referência	Não usado	Usado	Não usado	Usado	Não usado	Usado	Não usado	Usado	
	O que é examinado	Correção, Relevância, Quantidade	Correção, Relevância, Quantidade e Similaridade	Correção, Relevância, Quantidade	Correção, Relevância, Quantidade e Similaridade	Correção, Qualidade, Quantidade	Correção, Qualidade, Quantidade e Similaridade	Tipo de Complexidade	Tipo de Complexidade	

Uma análise completa desta Tabela 4.5, levando em conta todas as dimensões envolvidas, seria muito longa, por esta razão foi analisado aqui somente um dos componentes do mapa, *os termos* (conceitos). Ao projetar uma avaliação baseada em MCs, o professor decide prover

ao estudante os conceitos que devem aparecer no mapa; ele tem a opção de fornecer somente uma *amostra* de conceitos ou *todos* os conceitos; adicionalmente, se somente uma amostra é fornecida, o professor deve decidir se a amostra conterá conceitos que são relevantes no domínio/tópico sendo avaliado. Os conceitos pertencentes à amostra fornecida pelo professor podem ser *termos-chave* (os mais relevantes) ou somente relacionados mas não *termos-chave*. Com somente uma amostra de conceitos fornecida, o professor pode pedir ao estudante que complete a lista com uma pequena quantidade (10 conceitos adicionais, por exemplo) ou com todos os outros conceitos que ele considere apropriado para mapear o domínio ou tópico que está sendo avaliado. Adicionalmente, o professor deve decidir se os termos que o estudante deve fornecer são os mais relevantes (termos-chave) ou apenas relacionados ao domínio/tópico sob avaliação. Estas decisões definirão algumas das características do sistema de avaliação. Por exemplo, se o estudante deve fornecer conceitos, o sistema de avaliação pode considerá-los como corretos ou incorretos, sem considerar a relevância dos termos. O uso de um mapa de referência permite que o mapa do estudante seja examinado também quanto à similaridade com esta referência.

Na outra extremidade deste processo, o professor pode decidir prover ao estudante todos os componentes, completamente ou parcialmente apenas (ou seja, uma amostra de conceitos, linhas de ligação, de frases de ligação, e uma estrutura incompleta do mapa). A possibilidade de escolha em relação a cada um dos componentes é bastante variada. Um exemplo simples revela a complexidade potencial destas escolhas: o professor pode decidir prover frases de ligação para que algumas sejam escolhidas para o mapeamento. Se as frases de ligação não forem escolhidas cuidadosamente, o sistema de avaliação pode flaggar ambigüidades e outras anomalias no mapa do estudante, o que pode não refletir corretamente a qualidade do seu conhecimento.

Os aspectos mais óbvios que podem ser considerados ao se projetar uma tarefa de avaliação da aprendizagem mediada por mapeamento conceitual evidenciam duas questões básicas: a) o *produto final* - o mapa que é construído pelo estudante - pode ser pensado como sendo um ponto num *continuum* que vai de um mapa completamente construído pelo estudante até um mapa completamente preenchido pelo estudante, e b) dentro de cada tipo de produto final, as possibilidades que podem ser consideradas ao se projetar a tarefa de avaliação são múltiplas (ver nota de rodapé nº 5). Por exemplo, um mapa completamente construído pelo estudante pode variar dependendo do que lhe é fornecido, do quanto lhe é provido dentro de cada componente, das características do que lhe é provido e do que lhe é requerido. Ainda que o produto final seja o mesmo, por exemplo um mapa completamente construído pelo estudante, as demandas cognitivas evocadas pelas diversas restrições são diferentes.

Em relação ao mapa de referência que, segundo Ruiz-Primo (2004), pode ou não ser usado numa avaliação da aprendizagem baseada em MCs, observa-se que Novak, em sua pesquisa

seminal, onde MCs eram usados como referência para analisar as respostas dadas pelos alunos nas entrevistas sobre tema científicos, já aponta para os problemas que podem decorrer desta prática:

Um inconveniente desta abordagem é a nossa tendência para vermos apenas o que desejamos ver numa resposta de um aluno. Ao aplicar como principal critério de medida da compreensão do aluno a mesma estrutura de mapa conceitual que se utilizou para preparar a entrevista, corre-se o perigo de ignorar pontos de vista criativos ou formas imprevistas de considerar o mesmo tema. (Novak & Gowin, 1999, p.155)

Seguindo a linha geral das idéias de Ruiz-Primo sobre a avaliação da aprendizagem mediada por MCs, Zeilik e seus colegas (Zeilik et al., 1997) apontam que os objetivos envolvidos no processo ensino-aprendizagem são:

- Aprender termos, fatos e conceitos sobre o assunto tratado;
- Organizar a informação em categorias significativas;
- Sintetizar e integrar informação, idéias e conceitos;
- Pensar sobre a estrutura geral (*big picture*) e descobrir as conexões entre os conceitos;
- Pensar criativamente sobre o assunto tratado;
- Melhorar as habilidades de acesso ao conhecimento armazenado na memória de longo prazo;
- Desenvolver as habilidades, as estratégias e o hábito de pensar de modo avançado (desenvolvimento do pensamento de ordem superior <sup>6</sup>);
- Usar a linguagem gráfica de modo eficaz.

Um olhar atento sobre estes objetivos mostra que eles não são estranhos à taxonomia de Bloom. Por exemplo, aprender termos, fatos e conceitos envolve o domínio de conhecimento factual e conceitual por meio de processos cognitivos que podem ser *lembrança* e *entendimento*. Por outro lado, categorizar significativamente a informação envolve processos do tipo *análise* e sintetizar e integrar informação se refere aos processos criativos.

Estes autores propõem a seguinte classificação para os tipos de testes que podem ser usados com MCs para avaliar o atingimento dos objetivos propostos:

- Mapeamento conceitual colaborativo: os estudantes trabalham em grupo (3 ou 4 por grupo) negociando os significados que eles atribuem aos conceitos, procurando atingir um consenso ou demarcar pontos de vista diferentes;

---

<sup>6</sup>para mais informações sobre a categorização das formas de pensamento ver Jonassen (1996)

- Mapeamento conceitual do tipo *fill in the blanks*: os estudantes recebem um MC com todos os links e somente as caixas sem os *labels* dos conceitos (os significantos); esta é uma das tarefas mais difíceis; procura-se determinar se o estudante tem o domínio da estrutura do assunto tratado;
- Mapeamento conceitual do tipo *fill in the blanks* parcial: os estudantes recebem um MC parcialmente completo, ou seja, contendo todos os links e alguns conceitos com seus *labels* (aproximadamente  $\frac{2}{3}$  dos conceitos). Os conceitos que faltarem para completar o MC podem ser colocados em listas de múltipla escolha; a hipótese em que se baseia este tipo de teste é que o pensamento do estudante é tão mais próximo do pensamento do professor na medida em que o conhecimento representado no seu MC se aproxima daquele do professor ou do especialista, conforme o caso.
- Mapeamento conceitual de termos selecionados: os estudantes recebem uma lista de *labels* (significantos) (10 a 20) para produzir seu próprio MC usando somente os elementos da lista. O foco aqui é na determinação da dimensão semântica que relaciona os conceitos (e, conseqüentemente, na escolha da palavra (frase) de enlace correspondente) e na evolução da estrutura cognitiva dos estudantes.
- Mapeamento conceitual baseado em semente: nesta abordagem, também conhecida como *micromapping* (Trowbridge & Wandersee, 1996), os estudantes recebem um pequeno conjunto de *labels* (5 a 10) e completam o conjunto com um número igual de conceitos de sua própria escolha. Em seguida mapeiam conceitualmente o conjunto final.
- Mapeamento conceitual baseado em escolha guiada: os estudantes recebem uma lista de 20 *labels* de conceitos e selecionam 10 para construir os seus MCs. Esta atividade repetida diversas vezes num período de tempo mostra quais os conceitos que aparecem e desaparecem em cada uma das versões do mesmo MC. A hipótese de base é que estas mudanças representam reestruturações significativas da estrutura cognitiva dos estudantes.

## 4.5 Avaliação automática da aprendizagem

A avaliação da aprendizagem é uma das atividades que mais sobrecarrega o professor, principalmente nos países onde o professor especialista em avaliação não existe no contexto escolar. Nestes países, em geral, o professor que ensina é o mesmo que avalia a aprendizagem. No caso particular do Brasil, somente em raras ocasiões os estudantes são avaliados por professores diferentes daqueles que os auxiliaram na aprendizagem: no concurso vestibular para acesso ao ensino superior e nos concursos para provimento de cargos públicos. Devido a estas circunstâncias e ao número elevado de alunos sob responsabilidade de um único professor, o

processo de avaliação da aprendizagem exige cada vez mais o auxílio de mecanismos automáticos para que haja eficácia na sua execução. As questões do tipo verdadeiro-falso, combinação e múltipla-escolha não apresentam maiores dificuldades para a automatização do processo de correção. Entretanto, a correção automática de questões do tipo resposta-curta e ensaio exigem algoritmos computacionais não triviais e são, nos dias atuais, fronteira de pesquisa na áreas de processamento de linguagem natural (PLN) e de recuperação da informação (RI) (Hirschman et al., 2000; Landauer et al., 2000). Nas seções que seguem são analisados o estado-da-arte da avaliação automática de textos e a avaliação automática de mapas conceituais.

#### 4.5.1 Avaliação automática de textos

A pesquisa seminal sobre a avaliação automática de textos é devida a Ellis Page e foi publicada em 1968 (Page, 1968). Reconhecendo a pesada carga de trabalho do professor e a possibilidade de usar programas de computador para avaliar textos escritos por estudantes, Page desenvolveu um sistema de correção e pontuação automática de ensaios chamado de *Project Essay Grade* - PEG. O objetivo de Page era demonstrar a possibilidade de construir um sistema automático de correção da escrita que pudesse fazer o mesmo trabalho que um professor. Partindo de um conjunto de ensaios que professores já tinham corrigido e pontuado, ele experimentou uma variedade de características textuais que pudessem ser automaticamente extraídas destes ensaios corrigidos<sup>7</sup> e aplicou regressão linear múltipla a estas características para determinar a combinação de pesos que melhor predicesse o valor das pontuações atribuídas pelos professores. As notas atribuídas pelo PEG alcançaram correlação múltipla  $r$  de 0.78 com aquelas atribuídas pelos professores<sup>8</sup>. A despeito do sucesso em predizer o resultado da pontuação dos professores, a versão inicial do PEG teve aceitação bastante limitada na comunidade educacional por causa do uso de medidas indiretas de qualidade da escrita.

Na década de 1990, avanços nas áreas de PLN e RI encorajaram pesquisadores a aplicar novas ferramentas e técnicas computacionais para extrair de textos medidas mais diretas de qualidade da escrita. Seguindo a linha de pensamento de Page, Burstein e seus colegas do ETS<sup>9</sup> (Burstein, 1998) desenvolveram o *e-rater*, uma ferramenta capaz de avaliar analiticamente um texto com base em medidas mais diretas derivadas de qualidades gerais como *variedade sintática, estruturação e conteúdo de tópicos e organização de idéias*<sup>10</sup>. A idéia de Burstein era

---

<sup>7</sup>Devido principalmente à limitação da pesquisa em PLN na década de 1960, as características experimentadas por Page se resumiram a medidas indiretas da qualidade da escrita: comprimento médio de palavras, quantidade de palavras do texto, quantidade de vírgulas, quantidade de preposições e quantidade de palavras incomuns

<sup>8</sup>Este é um resultado impressionante porque a correlação múltipla entre dois ou mais professores no conjunto de ensaios que Page trabalhou não passou de 0.85 (Kukich, 2000)

<sup>9</sup>Educational Testing Service

<sup>10</sup>Estas qualidades gerais são as recomendações do Graduate Management Admissions Tests para a avaliação de ensaios - mais detalhes em [www.gmat.org](http://www.gmat.org)

testar características linguísticas que representassem mais diretamente estas qualidades gerais e que pudessem ser automaticamente extraídas do texto usando técnicas de PLN e RI. Por exemplo, a variedade sintática poderia ser medida pela quantificação de tipos de sentenças e cláusulas encontradas nos ensaios e o conteúdo de tópico pela análise do conteúdo vocabular. Usando a análise de regressão para determinar a aprendizagem do *e-rater*, o sistema foi testado com um número substancial de ensaios pré-corrigidos por professores. Os resultados dos testes confirmaram a validade psicométrica das notas do *e-rater* em termos de medidas da qualidade da escrita, das diferenças culturais e aprendizagem da segunda língua e da aprendizagem de assuntos específicos tais como História da América e literatura inglesa<sup>11</sup>.

A pesquisa de Landauer e seus colegas (Landauer et al., 2000) resultou no desenvolvimento do *Intelligent Essay Assessor* (IEA), um sistema para análise de ensaios, pontuação e realimentação tutorial, uma aplicação baseada em Análise de Semântica Latente (ASL). ASL é uma técnica de aprendizagem de máquina que serve para simular o significado de palavras e de passagens de texto (Berry et al., 1995; Deerwester, 1990; Landauer & Dumais, 1997; Landauer et al., 1998). A idéia fundamental é que o agregado de todos os contextos nos quais as palavras aparecem forma um sistema de equações lineares simultâneas que determina a similaridade de significado de palavras e passagens entre si. ASL usa a técnica de decomposição de matrizes singulares para analisar um corpo de texto de mesmo tamanho e conteúdo do que aquele que os estudantes vão usar para aprender vocabulário, conceitos e outros conhecimentos necessários para escrever um ensaio. ASL representa cada palavra e cada passagem como um ponto num *espaço semântico* multidimensional. A posição relativa neste espaço estima a similaridade semântica entre duas palavras ou passagens quaisquer. Muitos experimentos feitos com ASL provaram que a técnica simula com alta precisão as correspondentes similaridades semânticas dos humanos (Foltz et al., 1998; Rehder, 1998; Wolfe, 1998). É baseando-se neste poder de análise semântica da ASL que o IEA consegue:

- receber treinamento a partir de um texto representativo do domínio de conhecimento dos ensaios que ele vai analisar;
- representar os significados contidos nos ensaios recebidos e compará-los com textos altamente similares e de qualidade reconhecida (análise de conteúdo);
- calcular estatísticas sobre estilos de escrita (julgamento sobre a coerência do texto);
- identificar erros classificados como mecânicos (erros de ortografia);
- validar um ensaio do ponto de vista da língua em que ele foi escrito (Português ou Inglês);

---

<sup>11</sup>Mais informações sobre os estudos com o *e-rater* estão disponíveis em [www.ets.org/research/erater.html](http://www.ets.org/research/erater.html)

- detectar plágio ou outra tentativa de enganar o sistema (traduções automáticas, por exemplo);
- prover realimentação tutorial<sup>12</sup>.

Adicionalmente ao trabalho pioneiro de Page (1968) e de MacDonald (1982), este o primeiro a tratar de correção ortográfica, estilo e legibilidade, a partir da segunda metade da década de 1990 surgem várias contribuições para o avanço da avaliação automática de textos. Exemplos destas contribuições podem ser encontradas nos trabalhos de Lahan (2000), Chodorow & Leacock (2000), Miltsakaki & Kukich (2000), Burstein & Marcu (2000) e Bennet & Bejar (1998). Apesar destes avanços, todas as tecnologias atuais para avaliação automática de ensaios deixam considerável espaço para melhorias. Mais especificamente, espera-se que métodos possam avaliar, dar *feedback* crítico e sugestões para melhoria do texto em termos de detalhes da lógica, da sintaxe e da semântica ao nível da construção de sentenças; e da clareza, da compreensibilidade e das qualidades afetivas (humor, suspense, evocatividade) ao nível da sentença, do parágrafo e da organização do texto. A pesquisa com sucesso nesta linha contribuirá para melhorar os processos automáticos atuais de simulação de entendimento e modelagem da linguagem humana.

#### **4.5.2 Avaliação automática de mapas conceituais**

O interesse pelo uso do computador na avaliação mediada por mapas conceituais está ligado às possibilidades que se abrem de focar a avaliação no processo individual de construção de conhecimento que é desenvolvido pelo estudante, nas mudanças conceituais que ele revela no decorrer deste processo, no seu *aprender a aprender*, relativizando a construção de mapas como produto de grupos que convergem/não convergem na direção de um mapa ideal gerado por um professor ou por um perito (Beyerbach & Smith, 1990). O conhecimento que está em jogo neste tipo de avaliação é o conhecimento da organização, da estrutura de conhecimento de uma disciplina, de uma área de conhecimento.

Devido aos hábitos arraigados da escola tradicional, grande parte das pesquisas sobre o uso de mapas conceituais na avaliação da aprendizagem repetem o velho esquema de comparar mapas de estudantes a mapas ideais de referência, com o objetivo de quantificar a aprendizagem demonstrada pelo estudante. Os trabalhos de Bogden (1977), Diekhoff & Diekhoff (1982) e Novak & Gowin (1984) são exemplos menos recentes desta abordagem.

A introdução do computador como elemento auxiliar da avaliação da aprendizagem não conseguiu ainda modificar este procedimento. Trabalhos recentes mostram que avaliar modifi-

---

<sup>12</sup>Neste contexto, realimentação tutorial é a coleta e a apresentação ao estudante dos seus erros, falhas e omissões e sugestões para a melhoria da qualidade do seu ensaio.

cações no conteúdo e organização dos mapas é um patamar que ainda não foi atingido. A idéia ainda perseguida é verificar mais as similaridades com o pensamento de uma terceira pessoa - o professor ou um perito - do que as diferenças. São exemplos desta abordagem de comparação automática com mapas de referência os trabalhos de Araujo et al. (2002), Araújo et al. (2003), Cunha & Fernandes (2002), Fernandes et al. (2004), Santos Junior et al. (2005).

## **4.6 Considerações finais do capítulo**

O modo como se faz a avaliação da aprendizagem na escola sofre influência direta do sistema de crenças adotado pelo professor, ou seja, a forma como ele a aplica nos seus alunos depende do que ele entende, aceita e acredita que seja aprendizagem. A tradição behaviorista alimenta a crença de que aprender tem a ver com a absorção do conhecimento do professor pelo aluno, mas a escola construtivista propõe que aprender é um processo individual de construção de conhecimento. Ausubel refina a idéia dizendo que construir conhecimento se faz por meio da aprendizagem significativa e Novak oferece os mapas conceituais como a ferramenta capaz de auxiliar professores e alunos a colocar em prática na sala de aula as idéias de Ausubel. Como se viu neste capítulo de revisão da literatura sobre avaliação da aprendizagem, a introdução do computador no processo não permitiu ainda atingir o alvo visado pela escola construtivista, demonstrando que falta aprofundar as pesquisas nas áreas envolvidas.

# Capítulo 5

## Ontologias e a avaliação qualitativa da aprendizagem

### 5.1 Introdução

Ontologia, segundo a Filosofia, é o ramo da Metafísica que estuda a existência, suas propriedades e classificações (Laycock, 2006).

A Inteligência Artificial adotou o termo ontologia<sup>1</sup> para expressar bases de conhecimento compartilhadas, reutilizáveis e consensuais. Entretanto, o termo ontologia, sob a ótica da IA, não apresenta uma única definição, sendo algumas até contraditórias (Guarino, 1997). Segundo Neches e seus colaboradores, “ontologia é o conjunto de terminologias e relacionamentos que compreendem o vocabulário de um domínio, assim como as regras para estender esse vocabulário” (Neches et al., 1991) ou, segundo Corcho e seus colegas, “ontologias são especificações formais de conceitualizações compartilhadas” (Corcho et al., 2004).

Essas definições são suficientemente genéricas para atribuir caráter ontológico a muitos artefatos, como, por exemplo, glossários, bibliotecas de classes, mapas conceituais, bases de conhecimento. Entretanto, no que diz respeito aos mapas conceituais, são claras as suas diferenças para as ontologias. Algumas destas estão sumarizadas na Tabela 5.1.

Neste trabalho, o termo ontologia é definido como a união das duas definições vistas anteriormente, ou seja, no ambiente *CMTTool*, ontologias são especificações formais de conceitos (vocabulário de um domínio) e das dimensões semânticas de relacionamentos entre estes conceitos, estando estas dimensões de relacionamento organizadas em uma taxonomia de frases de ligação.

A organização da taxonomia, baseada no conceito de *inclusividade*, emprestado da apren-

---

<sup>1</sup>A Ontologia de Aristóteles com letra maiúscula é a única que pode existir, segundo a Metafísica. Por isso, ontologias em IA são sempre com o minúsculo.

**Tabela 5.1** – Características de MCs e ontologias de domínio

Característica	MC <sub>s</sub>	Ontologias
Concentram-se nas entidades de um domínio e em seus inter-relacionamentos.		X
Representam o entendimento de uma pessoa sobre a realidade.	X	
Dependem do contexto da tarefa sob análise e de decisões de projeto.	X	X
Tradicionalmente usados como ferramentas cognitivas no processo educacional.	X	
Tradicionalmente usados como ferramentas para compartilhar conhecimento.		X
Possibilitam raciocínio e inferência automáticos.		X
Incluem descrição formal do conhecimento.		X
Usados em engenharia do conhecimento		X
Representam conceitualizações compartilhadas de um domínio.		X

dizagem significativa, cria o conceito de *distância semântica* entre proposições. Dessa forma, duas proposição podem ter distância semântica igual a zero quando elas tiverem significados equivalentes (forem sinônimas) ou distância semântica maior que zero quando elas diferirem em significado. Por exemplo, <CHUVA é uma forma de PRECIPITAÇÃO ATMOSFÉRICA> e <PRECIPITAÇÃO ATMOSFÉRICA pode ser CHUVA> são equivalentes semânticamente se as frases **é uma forma de** e **pode ser** tiverem a mesma dimensão semântica, porque uma pode ser inferida da outra.

Como está detalhado no Capítulo 6, as ontologias no ambiente *CMTool* são geratrizes de proposições, que poderão posteriormente ser agrupadas pelo algoritmo genético para formar mapas conceituais. O *GAADT-CM* utiliza, como uma de suas entradas, uma ontologia de domínio para a tarefa de aprendizagem em questão. O professor constrói as ontologias e, para auxiliá-lo nesta tarefa, o ambiente disponibiliza um editor, o *On\_Tool*, capaz de suportar a edição de ontologias em modo gráfico e posterior geração destas ontologias em XML.

O objetivo de uma ontologia no ambiente é estabelecer o domínio de MCs passíveis de serem criados, ou seja, todos os mapas conceituais que podem ser criados a partir da ontologia formam o espaço de busca do algoritmo genético e o contexto para a tarefa de aprendizagem dos estudantes. A tarefa principal do AG é encontrar, dentro deste espaço de busca, o ponto mais próximo (semanticamente) de  $MC_{est}$ , que é o mapa submetido pelo estudante para avaliação da sua aprendizagem.

Estas são as bases teóricas de formação das ontologias do ambiente. Nas seções que seguem são detalhados o funcionamento da taxonomia de frases de ligação e das ontologias sob a ótica do *CMTool*.

## 5.2 Definição de uma Gramática EBNF para suportar Inclusividade em MCs

### 5.2.1 A notação EBNF

Para poder criar categorias de frases de enlace capazes de serem analisadas por um sistema computacional, e capazes de serem estendidas quando necessário, é preciso usar uma notação que disponha dos formalismos adequados para duas tarefas: análise gramatical e cálculo de distâncias entre dois pontos quaisquer da categorização. A notação EBNF definida na norma ISO/IEC 14977 (ISO/IEC:1996(E), 1996) é uma notação matemática formal usada para descrever uma linguagem. Ela consiste de coleções de regras (ou produções) coletivamente chamadas de **gramática**. É extensivamente utilizada em Ciência da Computação para definir formalmente a gramática de uma linguagem de programação, comandos de sistemas operacionais e outros tipo de entrada para sistemas computacionais.

Em EBNF, cada produção é terminada com um ponto-e-vírgula e consiste de um símbolo não-terminal e uma expressão EBNF separados por um sinal de igual. O símbolo não-terminal é chamado de **meta-identificador** e a expressão EBNF é a sua definição. A expressão EBNF é composta de zero ou mais símbolos terminais, símbolos não-terminais, e outros meta-símbolos<sup>2</sup>. Como EBNF só pode capturar a sintaxe de gramáticas livres-de-contexto<sup>3</sup>, uma gramática pode precisar ser aumentada com símbolos metalinguísticos para facilitar simplificações. A Tabela 5.2 apresenta um exemplo de gramática EBNF definindo o conjunto dos números inteiros. No exemplo dado, o símbolo meta-linguístico { } significa 0 (zero) ou mais ocorrências do argumento.

**Tabela 5.2** – Exemplo de definição usando EBNF

```
<inteiro> = <inteiro sem sinal> | <sinal> <inteiro sem sinal>;  
<sinal> = '+' | '-';  
<inteiro sem sinal> = <seqüência de dígitos>;  
<seqüência de dígitos> = <dígito>{<dígito>};  
<dígito> = '0'|'1'|'2'|'3'|'4'|'5'|'6'|'7'|'8'|'9';
```

<sup>2</sup>Símbolos não terminais podem aparecer dos dois lados de uma produção, enquanto que símbolos terminais aparecem somente do lado direito.

<sup>3</sup>Gramática livre-de-contexto é um sistema que descreve uma linguagem por meio de regras que especificam como derivar qualquer expressão a partir de um símbolo inicial (não terminal)

## 5.2.2 A Gramática de Inclusividade

Existem na literatura tentativas de classificar e categorizar relações binárias conectando dois conceitos. Yudelson et al. (2003) listam duas iniciativas nesta direção: o IEEE Learning Objects Metadata (LOM) e o projeto Multibook. O LOM especifica a sintaxe e a semântica dos meta-dados associados a objetos de aprendizagem (Fischer, 2001). Estes objetos podem ser considerados como conceitos em um MC N-dimensional, no qual uma nova dimensão é definida quando um novo tipo de objeto é usado. Exemplos de objetos de aprendizagem incluem conteúdo multimídia, conteúdo instrucional e software instrucional.

Multibook é um sistema hiper-mídia adaptativo usado para ensinar tecnologia multimídia (Multibook, 2004). A base de conhecimento do Multibook trabalha com dois espaços diferentes: o *ConceptSpace* que é uma ontologia na qual cada conceito é definido em termos de palavras-chave que são usadas para esboçar uma aula e o *MediaBrickSpace* que contém o conteúdo real que vai ser apresentado (texto, imagens, áudio, vídeo, animações) (Fischer, 2001). Os elementos nestes espaços são conectados por relações binárias semelhantes às aquelas encontradas nos MCs. Estas relações semânticas não são completas e precisam ser reprojatadas no caso do modelo ser usado em outro domínio de conhecimento.

Embora estas iniciativas não estejam diretamente ligadas ao processo de mapeamento conceitual, elas listam algumas frases de enlace bastante comuns encontradas em MCs. Uma categorização mais completa das relações binárias em MCs, coletada diretamente das frases de enlace usada por estudantes, foi definida por Kathleen Fisher (Jonassen, 1996). Esta categorização resultou de sua longa experiência com redes semânticas, usando o software SemNet (Fisher, 1992) e é a base da gramática de inclusividade descrita a seguir e representada na forma de um MC na Figura 1.4.

Cada um dos símbolos não-terminais na gramática (conceitos na Figura 1.4) pode ser determinado em termos dos símbolos terminais que definem sua dimensão, ou a partir de um processamento mais elaborado, envolvendo a definição recursiva de símbolos não-terminais. A Tabela 5.3, por exemplo, apresenta a descrição do não-terminal DEFINIÇÃO.

A Tabela 5.4 apresenta trechos da gramática EBNF de inclusividade proposta nesta pesquisa. Como a gramática deve ter utilidade para qualquer campo de conhecimento, ela estará sempre incompleta e disponível para melhorias (como o aperfeiçoamento das definições iniciais), e para extensões visando implementá-la em novas disciplinas ou diminuir a granularidade de definições já existentes.

Alguns pontos importantes: (i) a gramática proposta é uma tentativa de classificar as relações semânticas mais genéricas e, em decorrência, outras classificações são possíveis; (ii) embora a gramática seja auto-explicativa em grande parte, pode ser inicialmente difícil discernir

**Tabela 5.3** – Descrição do não-terminal DEFINIÇÃO

Símbolo	Tipo
Analítico	Não-terminal
Sintético	Não-terminal
'é descrito por'	Terminal
'é definido por'	Terminal
'descreve'	Terminal
'define'	Terminal

**Tabela 5.4** – Extratos da Gramática EBNF para Inclusividade (indentação usada para facilitar a leitura)

Inclusividade = (Simétrica   Assimétrica);
Simétrica=Oposição   Igualdade   Desigualdade   Parentesco   Independência   Paralelismo;
Oposição=(Lógica   Física);
Lógica='faz o oposto de'   'é o oposto de'   'é o contrário de'   'tem como antônimo'   'é oposto a';
Física='é oposto';
Igualdade=(Lógica   Física);
Lógica='igual a'   'é o mesmo que'   'tem como sinônimo';
Física='está no mesmo lugar';
...
Assimétrica=Definição   Subordinação   Lugar   Temporal   Ação   Processo;
Definição=Analítica   Sintética   'é descrito por'   'é definido por'   'é denotado por'   'descreve'   'define'   'denota';
Analítica=(Partição   Caracterização);
Partição=(Agregação   Composição   Organização);
Agregação=(Temporal   Não-Temporal);
Temporal= 'tem como passo'   'tem como estágio'   'é passo de'   'é estágio de';
Não-Temporal='tem como parte'   'tem como peça'   'contém'   'é parte de'   (...)
Composição= (Temporal   Não-Temporal);
Temporal= 'tem como passo'   'tem como estágio'   'passo de'   'é estágio de' ;
Não-Temporal='tem como parte'   'tem como peça'   'contém'   'é parte de'   (...)
Organização= 'é organizado em';
...

entre Agregação, Composição e Organização. Agregação é uma dimensão todo-parte na qual o todo não existe sem as suas partes, mas estas podem existir na ausência do todo. Na Figura 3.3, o conceito REDE DE COMPUTADORES descreve uma agregação. Composição é uma dimensão todo-parte em que nem o todo e nem as partes existem de modo isolado, ou seja, as partes só podem existir dentro do todo. Um exemplo de composição é dado na Figura 5.1. Organização não descreve as unidades elementares de um todo, mas sim unidades organizacionais, que existem somente com a finalidade explicar ou organizar o todo; (iii) expressões que, embora diferentes, representam a mesma noção semântica (por exemplo, 'define' e 'é definido por') são

classificadas sob o mesmo supertipo. Isto não impede que tais expressões sejam classificadas separadamente em uma extensão da gramática.

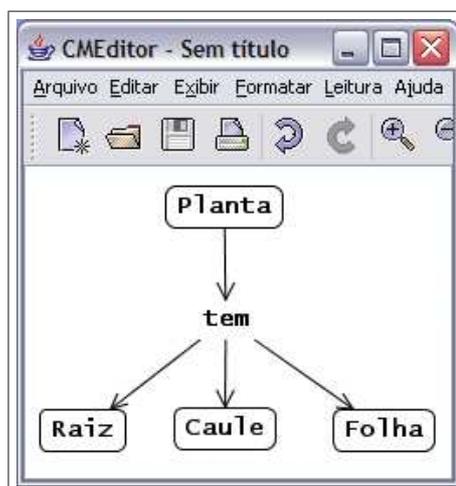


Figura 5.1 – MC sobre a estrutura de uma planta

### 5.3 A taxonomia de frases de ligação

Um dos problemas fundamentais desta pesquisa foi encontrar uma forma de comparar o significado de duas proposições e atribuir um valor numérico para a similaridade semântica entre elas, ou seja, foi necessário definir um processo de medida aplicável à construção de significados e engendrar uma escala de medição adequada. A solução encontrada envolve dois mecanismos diferentes: (i) um algoritmo genético; (ii) uma taxonomia de frases de ligação.

A contribuição do algoritmo genético está na questão da escala de medida. Sua função de adaptação é capaz de atribuir valores numéricos para os mapas das populações que ele gera. Estes valores numéricos representam a medida cognitiva associada ao mapa. Os detalhes de funcionamento deste mecanismo estão apresentados no Capítulo 6.

A contribuição da taxonomia<sup>4</sup> está na questão do processo de medida. Sua organização em supertipos envolvendo outros supertipos, forma uma árvore cuja profundidade varia de acordo com a dimensão semântica que estiver sendo descrita. Para facilitar a compreensão deste importante mecanismo do *CMTool* apresenta-se na Tabela 5.5 um extrato da taxonomia<sup>5</sup>.

A taxonomia das frases de ligação é o resultado da implementação computacional da gramática de inclusividade definida na Seção 5.2.2. A gramática<sup>6</sup> está detalhadamente descrita em Costa Jr et al. (2004) e sintetizada no MC da Figura 1.4.

<sup>4</sup>Os termos *taxonomia de frases de ligação* e *taxonomia* são usados com o mesmo significado neste capítulo.

<sup>5</sup>A taxonomia completa está no Apêndice A

<sup>6</sup>Neste capítulo as expressões *gramática* e *gramática de inclusividade* são usadas com o mesmo significado.

**Tabela 5.5** – Extratos da taxonomia de frases de ligação

```

<supertipo valor="processo">
  <desc>Esta dimensão representa a ligação semântica existente entre conceitos envolvidos em
  um processo. Um processo utiliza entradas e gera saídas através de alguma transformação.
  Por exemplo, na proposição "VAPOR D'ÁGUA é transformado em CHUVA", o conceito VAPOR
  D'ÁGUA é a entrada do processo e o conceito CHUVA é a saída do processo. A transformação
  (no caso, o fenômeno da condensação) não é mencionada no exemplo dado. A dimensão processo
  possui subdimensões que representam as possíveis ligações entre conceitos.</desc>
  <supertipo valor="entrada">
    <desc>A dimensão "entrada" representa a ligação semântica que existe entre conceitos
    na qual um conceito é entrada de um processo. Assim, por exemplo, na proposição
    "CONDENSAÇÃO transforma VAPOR D'ÁGUA", o conceito CONDENSAÇÃO representa
    o processo em si, enquanto o conceito VAPOR D'ÁGUA representa a entrada
    para o processo.</desc>
    <supertipo valor="sentido_direto">
      <desc>Descrição do supertipo</desc>
      <frase>usa</frase>
      <frase>usa como entrada</frase>
      <frase>utiliza</frase>
      ...
    </supertipo>
    <supertipo valor="sentido_inverso">
      <desc>Descrição do supertipo</desc>
      <frase>é entrada de</frase>
      <frase>é usado por</frase>
      <frase>é utilizado por</frase>
      ...
    </supertipo>
  </supertipo>
  ...
</supertipo>

```

A taxonomia tem dois ramos: o ramo **simétrico** e o ramo **assimétrico**. O ramo simétrico contém as dimensões semânticas que servem para classificar relações consideradas como palíndromos, ou seja lidas em qualquer direção tem o mesmo significado. Por exemplo, <X é diferente de Y> e <Y é diferente de X> têm a mesma carga semântica, ou seja, neste contexto, os conceitos <X> e <Y> tem o mesmo grau de inclusividade. O ramo assimétrico, por sua vez, contém as dimensões usadas para escrever proposições que admitem inversas com mesma carga semântica, mas com mudança no grau de inclusividade dos conceitos. Por exemplo, <GATO é um tipo de FELINO> pode ser escrita, mantendo o significado, como <FELINO pode ser GATO>; no primeiro caso, <GATO> é mais inclusivo que <FELINO> e, no segundo caso ocorre o inverso.

Para dar conta desta diversidade de possibilidades, a taxonomia é organizada em cadeias taxonômicas, desdobradas em supertipos ou dimensões. Nas extremidades de cada cadeia, uma coleção de frases de enlace complementa o significado. Por exemplo, na Tabela 5.5, pode-se observar a formação das cadeias:

- a) `assimetria.processo.entrada.sentido_direto.frase`

b) `assimetria.processo.entrada.sentido_inverso.frase`

Cada uma dessas cadeias envolve um refinamento progressivo das dimensões. O objetivo é atingir alto grau de precisão na escrita das proposições em mapas contextualizados, facilitando dessa forma a análise automática pelas ferramentas de avaliação da aprendizagem do CMTTool. Como exemplo de uso das cadeias completas, pode-se escrever: <CONDENSAÇÃO `assimetria.processo.entrada.sentido_direto.transforma` VAPOR D'ÁGUA>. A parte destacada é a frase de enlace da cadeia taxonômica.

Esta disposição da taxonomia ajuda a formar proposições cujos significados podem ser diferenciados ao nível da cadeia de supertipos e das frases associadas. Por exemplo, Nas proposições <CONDENSAÇÃO `assimetria.processo.entrada.transforma` VAPOR D'ÁGUA> e <CONDENSAÇÃO `assimetria.processo.entrada.utiliza` VAPOR D'ÁGUA> é possível reconhecer um pequeno desvio de significado, porque utilizar algo não significa exatamente transformar o que está sendo utilizado.

## 5.4 Inferência

A ontologia armazena conhecimento explícito e conhecimento implícito e ambos podem aparecer num MC construído por um estudante. Assim sendo, o AG deverá contar, necessariamente, com um mecanismo auxiliar para ajudá-lo a construir mapas que também considerem o conhecimento inferido. Este mecanismo auxiliar é a máquina de inferência do ambiente (ver Figura 1.1), cujo mecanismo de funcionamento está descrito nessa seção.

Inferir é raciocinar de forma a tirar conclusões com base em evidências circunstanciais, ao invés de fazê-lo por meio de observação direta. Para o problema tratado nesta tese, inferir é analisar um conjunto de proposições, tidas como verdadeiras e gerar novas proposições. Um exemplo simples esclarece o conceito de inferência: sejam as proposições: “homem possui braço” e “João é um homem”. Se ambas são verdadeiras, a proposição “João possui braço” também é verdadeira, embora não esteja explícita.

As inferências, que parecem decorrer naturalmente da intuição, não são executadas de forma automática por computadores. É necessário elaborar regras de inferência para que isso aconteça. Em termos práticos, considerando as observações feitas no decorrer da pesquisa, nesta tese serão consideradas somente dois tipos de inferências: *Transitividade* e *Inversão*<sup>7</sup>. A transitividade ocorre quando uma mesma regra é propagada por várias outras proposições. Suponha-se que novas proposições sejam adicionadas ao exemplo anterior: “braço possui mão” e “mão possui dedos”. Dos fatos citados, pode-se agora concluir que “homem possui dedos” é uma proposição

---

<sup>7</sup>Observou-se que estes são os dois tipos de inferência mais usados pelos estudantes no decorrer dos seus mapeamentos conceituais.

verdadeira, embora mais distante dos fatos originais. Isso ocorre porque o sentido em que está sendo aplicada a palavra “possui” é transitivo. A Figura 5.2 ilustra o modo como funciona o processo descrito.

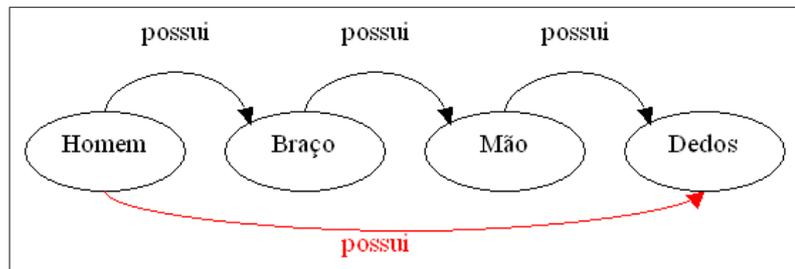


Figura 5.2 – Exemplo de funcionamento do processo de transitividade

Por outro lado, a inversão trata dos relacionamentos que possuem uma relação de retorno, ou um sentido inverso. Por exemplo, se João é pai de José, infere-se que José é filho de João, conforme ilustração da Figura 5.3.



Figura 5.3 – Exemplo de funcionamento do processo de inversão

A combinação dessas duas regras pode gerar ainda outras inferências. Tendo como base algumas proposições numéricas, pode-se visualizar esse processo de inferência com regras combinadas de forma mais detalhada:

- Um é menor que dois;
- Dois é menor que três;
- Três é menor que quatro.

A relação **menor que** admite o inverso **maior que**, além de ser transitiva. Com isso, várias relações inferidas poderão ser geradas envolvendo **menor que**. A Figura 5.4 mostra o conjunto de relações que podem ser inferidas a partir dos fatos conhecidos.

## 5.5 Ontologias de domínio

Tendo apresentado nas seções anteriores os mecanismos auxiliares da formação das ontologias no *CMTool*, nesta seção é apresentado um exemplo de aplicação destes conceitos.

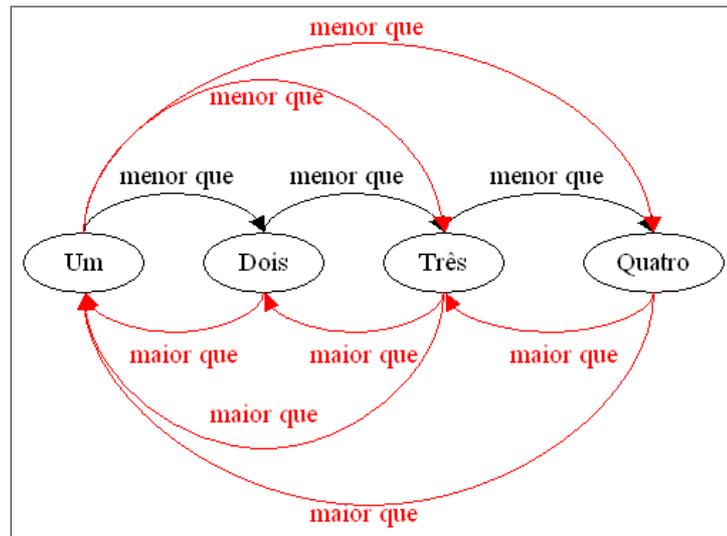


Figura 5.4 – Processos de inversão e transitividade simultâneos

### 5.5.1 Uma ontologia exemplo

As aplicações baseadas em ontologias precisam de um editor para auxiliar na tarefa de criação destes artefatos. Em geral, uma editor de ontologias apresenta ao usuário uma interface com caixas de textos, botões, listas e outras objetos de mesma natureza. Para criar uma ontologia o usuário preenche os campos apropriados e salva um arquivo com a ontologia. Esta terá uma descrição interna baseada na linguagem de suporte do editor. *Protégé* ((Protégé, 2007)) e *OWL (Web Ontology Language)* ((W3C, 2007)) é um exemplo desta associação entre editores e linguagens de definição e instanciação de ontologias. A Figura 5.5 apresenta um exemplo de edição de uma ontologia com o Protégé.

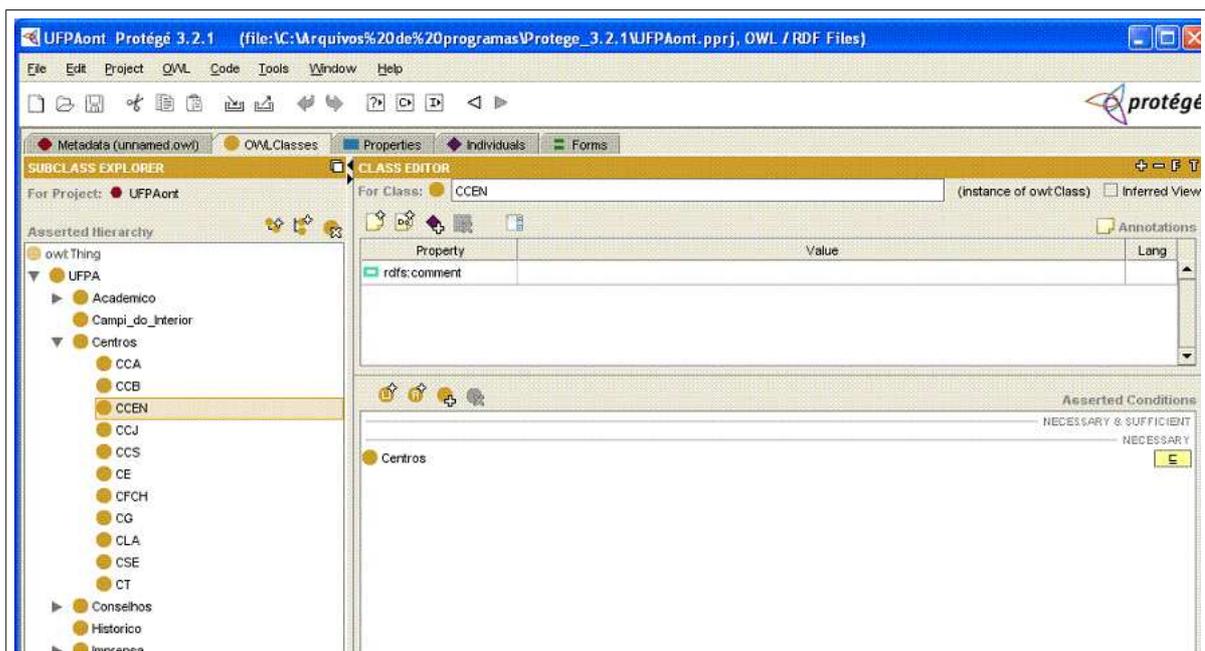


Figura 5.5 – Edição de uma ontologia de domínio usando o Protégé

No *CMTool*, para manter um *design* homogêneo para as interfaces dos editores do ambiente, optou-se por implementar uma interface gráfica semelhante para os dois editores. Em decorrência, o professor constrói ontologias no ambiente desenhando conceitos e unindo estes conceitos por relações semânticas escolhidas na taxonomia, da mesma forma que um estudante desenha um mapa conceitual contextualizado. O aspecto externo de uma ontologia é semelhante ao de um mapa conceitual, conforme está mostrado na Figura 1.3.

**Tabela 5.6** – Extratos de uma ontologia do *CMTool*

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE ontologia SYSTEM "Ontologia.dtd">
<ontologia> <dominio>dominio</dominio>
<valor-relacao cod="0" x="327.25" y="105.5" nomeletra="Arial Negrito" estiletra="1" tamanho="12" corletra="-16777216">
<supertipo cadeia="assimetria.partição.temporalidade.sentido_inverso">
<frase> é fase de</frase>
<frase> é estágio de</frase>
</supertipo>
</valor-relacao>
...
<relacao-binaria cod="0">
<conceito-origem>Precipitação</conceito-origem>
<conceito-destino>Ciclo da Água</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>0</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
```

Internamente, as ontologias do ambiente são representadas em XML. Esta é uma escolha conveniente para a fase inicial da pesquisa, entretanto, é viável representar as ontologias, e também os mapas conceituais, em outras linguagens recomendadas pelo W3C para operar e compartilhar o ambiente num contexto mais amplo. A Tabela 5.6 apresenta um extrato da ontologia que serviu para a maioria dos exemplos desta tese, em particular os do Capítulo 6. O exemplo dado mostra que o professor definiu que os conceitos Precipitação e Ciclo da Água (conceitos origem e destino da relação binária com código igual a zero) se relacionam semanticamente pela cadeia “assimetria.partição.temporalidade.sentido\_inverso” (valor do atributo cadeia da *tag* supertipo). As frases preferenciais para instanciar esta cadeia semântica, escolhidas pelo professor na taxonomia, são: {é fase de, é estágio de}, conforme mostrado pelas *tags* frase ordenados sob o supertipo da cadeia semântica referida.

## 5.6 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo foi apresentado o modelo teórico de ontologia do ambiente *CMTool*. Ele consiste de uma junção de definições bem aceitas para o termo ontologia na comunidade de IA,

adicionado de um sistema auxiliar de medida cognitiva capaz de informar se duas proposições são equívalentes ou se são distantes do ponto de vista semântico.

O ambiente não impõe qualquer restrição ao professor em relação ao que pode estar contido numa ontologia: desde uns poucos conceitos relativos a um tópico de ensino, até dezenas de conceitos relativos a uma matéria toda. Na realidade, as relações contidas na ontologia devem representar a estrutura do conhecimento associado àquele tópico ou àquele capítulo.

Esta estrutura não será percebida de uma vez pelos alunos. Eles tentarão reconstruir o conhecimento armazenado na ontologia por meio de mapas parciais, aumentando o grau de complexidade em pequenos passos até, eventualmente chegarem a um mapa máximo, que conteria todos os conceitos da ontologia. Em vista disso, fica claro o papel imprescindível desempenhado por este mecanismo no processo de avaliação: a ontologia fornece a matéria prima para o AG gerar suas populações e eventualmente encontrar mapas semanticamente próximos do mapa avaliado. A riqueza de relações na ontologia é um dado fundamental nesse processo porque, dado que a aprendizagem é idiossincrática, poderá haver uma grande variedade nos mapas submetidos pelos estudantes e, em cada situação, o AG, com a ajuda da ontologia e da máquina de inferência, deverá ser capaz de gerar as soluções apropriadas.

Um aspecto que deve ser destacado é a economia de esforços por parte do professor para avaliar a aprendizagem: com uma única ontologia ele será capaz de avaliar e acompanhar a aprendizagem individual de milhares de estudantes, respeitando a forma de aprender de cada um. O trabalho pesado será feito pelo ambiente, e o professor ficará liberado para outras tarefas igualmente importantes.

# Capítulo 6

## Algoritmos genéticos e a avaliação qualitativa da aprendizagem

### 6.1 Introdução

Na década de setenta, um estudante de doutorado em ciência da computação da Universidade de Michigan, chamado John H. Holland, tentava desenvolver um método computacional que se prestasse para abordar fenômenos gerados por sistemas adaptativos complexos<sup>1</sup>. Estes fenômenos são aqueles cujos resultados dependem das interações não lineares entre vários agentes adaptativos. Por exemplo, a seca do nordeste brasileiro é um fenômeno desse tipo.

No decorrer do seu trabalho, Holland percebeu que existia uma nítida semelhança entre os fenômenos que estudava e o processo de evolução das espécies, pois assim como a interação entre os agentes adaptativos determinava o resultado dos fenômenos investigados por ele, a interação entre os fatores ambientais determinava a próxima população de uma dada região. Com base nesta constatação, Holland propôs um método computacional para simular o processo de evolução das espécies, denominado de algoritmo genético (Holland, 1992).

Algoritmo genético (AG) é uma técnica de busca que permite a convergência em direção à melhor solução de um problema, dada uma coleção de soluções candidatas. Esta coleção é chamada de espaço de busca.

Do ponto de vista computacional, um AG é um procedimento iterativo que mantém uma população de soluções candidatas,  $P(t)$ . Durante cada passo da iteração, os indivíduos da população corrente são avaliados quanto à sua adaptabilidade e, com base nesta avaliação, uma nova população é formada.

O AG começa trabalhando com uma população inicial,  $P(0)$ , que pode ser formada de muitas maneiras diferentes. As formas mais usuais utilizam processos aleatórios de seleção,

---

<sup>1</sup>Sistemas cujo comportamento é difícil de prever.

regras heurísticas ou o conhecimento de um especialista no domínio do problema. A população  $P(t + 1)$ , que será a população corrente no tempo  $(t + 1)$ , é formada através de um processo que envolve a seleção em  $P(t)$  dos elementos considerados mais adaptados, o cruzamento destes elementos, usualmente em pares (há um processo aleatório de escolha de *quem vai cruzar com quem*), e a mutação de parte destes elementos. O resultado é uma população descendente que conterà uma possível solução para o problema em causa. A seqüência geral de passos que define este processo é:

1. Cria a população inicial  $P(t)$  em  $t = 0$ ; esta população inicial é considerada a população corrente;
2. Aplica **Seleção**: extrai da população corrente os melhores indivíduos; eles serão os pais da próxima população;
3. Aplica **Cruzamento**: os melhores indivíduos selecionados são combinados dando origem a uma prole;
4. Aplica **Mutação**: para dar variabilidade genética à prole formada no passo anterior, parte do seus componentes é modificada; cria-se assim uma população descendente da população ancestral corrente; no novo passo de iteração, a população descendente se torna a nova população corrente;
5. Volta ao passo 2.

A operação de seleção se faz segundo um critério que compara cada indivíduo de uma população com todos os outros. O resultado do processo separa os mais adaptados para que, no momento seguinte, possam se combinar para dar origem a uma nova geração<sup>2</sup>.

A operação de cruzamento entre dois elementos da população precisa da definição de pontos de cruzamento, que podem ser escolhidos aleatoriamente. Por exemplo, se cada elemento da população é representado por uma *string* binária, seja  $x_1 = 1101:010100$  e  $x_2 = 0110:110110$ , onde o caracter (:) representa os pontos de cruzamento, os elementos resultantes após o cruzamento seriam,  $y_1 = 1101110110$  e  $y_2 = 0110010100$ . Desta forma, a ação do operador de cruzamento possibilita a introdução de dois novos *indivíduos* na população.

A mutação é um processo cuja aplicação pode depender de probabilidades estabelecidas; sendo assim, ela pode não se realizar em todas as iterações do algoritmo.

O término do processamento de um AG pode se dar de duas formas diferentes:

- a população  $P(t)$  atinge um estado estacionário, com todos os indivíduos apresentando o mesmo grau de adaptação; neste caso  $P(t + 1) = P(t)$ ; ou

---

<sup>2</sup>Os termos geração e população serão usados com sentido equivalente neste capítulo

- é atingido o número máximo de iterações; neste caso, o indivíduo mais adaptado da última população gerada pelo AG representa a solução computada para o problema em questão.

Os critérios de parada do algoritmo são parâmetros que controlam o processo evolucionário. No primeiro caso, se todos os indivíduos de uma população descendente atingem o mesmo grau de adaptação da sua população ancestral significa que o algoritmo atingiu um máximo local ou global e, nestas circunstâncias, a continuação do processo evolucionário não conseguirá melhorar a solução encontrada. Uma forma ligeiramente diferente de estabelecer o mesmo critério de parada é comparar a adaptação de cada indivíduo na população descendente com a média de adaptação da população ancestral. No segundo caso, a parada por “número de gerações” significa que o AG executou o número máximo de iterações previstas e, nestas circunstâncias, a continuação do processo não garante que uma solução melhor que a última vai ser encontrada.

A representação dos elementos de uma população é uma das características essenciais de um AG. Esta representação é diretamente relacionada à natureza do problema que se quer resolver e define a estrutura que vai ser manipulada pelo algoritmo. A Tabela 6.1 apresenta os principais tipos de representação.

**Tabela 6.1** – Indivíduos de uma população: principais tipos de representação - Fonte (Pacheco, 2007)

<b>Representação</b>	<b>Natureza do Problema</b>
<i>String</i> Binária	Numéricos, Inteiros
Números Reais	Numéricos, Reais
Permutação de Símbolos	Baseados em Ordem
Símbolos Repetidos	Grupamento

Este capítulo descreve o projeto e a implementação de um AG capaz de lidar com mapas conceituais. O projeto do AG se baseou num modelo de algoritmo genético não-tradicional, chamado de Algoritmo Genético para Tipos Abstratos de Dados (*GAADT*), inicialmente definido em Lopes (2003). Eles são AGs baseados em axiomas matemáticos, cujos elementos populacionais são estratificados em bases, genes e cromossomos. Em virtude disso, o AG desenvolvido para esta pesquisa foi denominado *GAADT-CM* (*Genetic Algorithm based on Abstract Data Types applied to Concept Maps*).

A escolha de algoritmos genéticos, mais especificamente *GAADTs*, se baseou nas seguintes premissas:

1. AG é uma técnica de busca que pode ser aplicada aos mais variados domínios com bons resultados. Mesmo AGs genéricos permitem a obtenção de bons resultados, ou seja, resolvem satisfatoriamente as mais diversas classes de problemas (Goldberg, 1989);

2. AGs são técnicas de busca cega, já que não precisam de informações auxiliares (gradientes, por exemplo) para direcionar a busca. Na verdade, AGs não precisam sequer conhecer a função (matemática ou não) que se deseja maximizar/minimizar. Basta para o AG que se tenha alguma medida de adaptação (*fitness*) que permita comparar dois conjuntos de parâmetros de entrada quaisquer;
3. AGs permitem a busca tanto em domínios numéricos quanto em domínios não-numéricos, estando os operadores genéticos bem definidos. Adicionalmente, as soluções em AGs podem ser utilizados com as mais diversas representações de indivíduos. Tradicionalmente utiliza-se a codificação binária, conforme está mostrado no exemplo da Seção 6.2, mas podem-se utilizar muitos outros tipos de codificação. Nesta tese, por exemplo, as entradas para o AG são codificadas em XML, a partir do que são criados objetos (de acordo com o paradigma da orientação a objetos) que representam os cromossomos.
4. GAADTs estratificam os elementos populacionais em níveis (bases, genes e cromossomos), definidos por meio de axiomas matemáticos, que podem ser ajustados para tipos não-triviais de dados, como os tipos de dados encontrados em MCs (conceitos, relações binárias, proposições);
5. AGs facilitam a avaliação do conhecimento expresso em MCs inseridos por um estudante ( $MC_{est}$ ). Para isso, é necessário identificar qual(ais) MC correto(s) está(ão) mais próximo(s) daquele que o estudante gerou. Assim sendo, dado um  $MC_{est}$  qualquer, avaliá-lo engloba a tarefa de buscar um, ou mais de um, MC correto comparável a  $MC_{est}$ . Identifica-se deste modo um problema de busca não trivial, dada a enorme quantidade de MCs que podem ser gerados sobre uma determinada área de conhecimento.

Para facilitar a compreensão do projeto do *GAADT-CM* e sua comparação com AGs tradicionais, a seção a seguir apresenta um exemplo simples de aplicação destes algoritmos. O projeto e implementação do *GAADT-CM* é objeto do resto das seções do capítulo.

## 6.2 Exemplo de uso de um AG tradicional: achar o máximo de uma função

Como exemplo, considere-se o problema de maximizar a função  $f(x) = x^2$ , onde  $x$  pode variar de 0 a 31.

Para representar os valores de  $x$  em binário são necessário cinco bits. Em conformidade com isto, o valor zero decimal será representado por 00000 e o valor 31 decimal será representado por 11111. Assumindo que as populações geradas pelo AG tenham tamanho 4, pode-se gerar

aleatoriamente 4 indivíduos para constituir a população inicial<sup>3</sup>. Os primeiros resultados estão sintetizados na Tabela 6.2.

**Tabela 6.2** – Execução do AG até a operação de seleção (Goldberg, 1989)

Número do Cromossomo	População Inicial	Valor de $x$	Grau de Adaptação $f(x) = x^2$	Probabilidade de seleção $p_i = \frac{f_i}{\sum f}$	Contagem Esperada $\frac{f_i}{f}$	Contagem Real
1	01101	13	169	0.14	0.58	1
2	11000	24	576	0.49	1.97	2
3	01000	8	64	0.06	0.22	0
4	10011	19	361	0.31	1.23	1
Soma- $\sum f$			1170	1,00	4,00	4,0
Média- $(\bar{f})$			293	0,25	1,00	1,0
Máximo			576	0,49	1,97	2,0

Após ser constituída a população inicial, avalia-se cada um dos cromossomos gerados, ou seja, o *grau de adaptação* de cada um deles é calculado por meio de uma função de adaptação<sup>4</sup>. Por exemplo, o cromossomo com a codificação 11000 (decimal 24) tem um valor de adaptação igual a 576, devido ao resultado  $f(24) = 24^2$ .

Após a avaliação de todos os cromossomos da população inicial, a etapa de reprodução se inicia. Para isso é preciso escolher o método de seleção a ser aplicado. No exemplo da Tabela 6.2 foi aplicado o método de seleção proporcional à aptidão. Neste método, o número de vezes que um cromossomo é selecionado para reprodução é sua aptidão dividida pela aptidão média da população<sup>5</sup>. A forma de implementar este método de seleção é chamado de método da *Roleta*, no qual cada cromossomo é representado por um setor circular da roleta, com área proporcional à sua aptidão. Para selecionar cada cromossomo da nova população a roleta é girada e é escolhido o cromossomo em que parar o indicador. A Figura 6.1 mostra a roleta para o exemplo da Tabela 6.2.

No exemplo dado, os cromossomos “1” e “4” participam do cruzamento com uma cópia de cada um, o cromossomo “2” participa com duas cópias e o cromossomo “3” foi descartado<sup>6</sup>. A seleção feita mostra que o cromossomo melhor adaptado participa com uma maior quantidade de cópias enquanto que o pior adaptado é descartado.

<sup>3</sup>Na terminologia dos AGs, os indivíduos são chamados de cromossomos

<sup>4</sup>A escolha de uma função para medir o grau de adaptação - *fitness* - dos indivíduos de uma população é um dos elementos fundamentais do trabalho com AG.

<sup>5</sup>Os biólogos chamam a este critério de “viabilidade de seleção”.

<sup>6</sup>O descarte deste cromossomo é devido somente à aleatoriedade do processo.

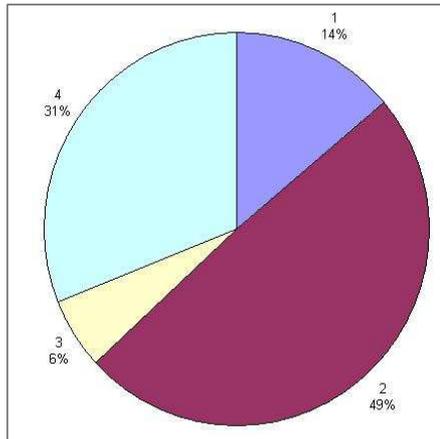


Figura 6.1 – A roleta para o exemplo da Tabela 6.2

A operação de cruzamento é realizada em duas etapas:

- escolher aleatoriamente os pares que vão cruzar dentre os cromossomo selecionados;
- escolher aleatoriamente o ponto de corte para cada um dos pares.

A Tabela 6.3 mostra uma síntese desta operação de cruzamento.

Tabela 6.3 – Continuação da Execução do AG (Goldberg, 1989)

Pares de Cromossomos	Parceiro Selecionado	Ponto de corte para o Cruzamento	Nova População	Valor de $x$	Grau de Adaptação $f(x) = x^2$
0110 1	2	4	01100	12	144
1100 0	1	4	11001	25	625
11 000	4	2	11011	27	729
10 011	3	2	10000	16	256
Soma					1754
Média					439
Máximo					729

No caso da representação de cromossomos por *strings* binárias, a aplicação da operação de mutação pode depender do resultado de uma probabilidade estabelecida como, por exemplo, mudar aleatoriamente 1 bit em cada mil. Dada a pequena quantidade de bits no exemplo da Tabela 6.2, não há necessidade de aplicar o operador de mutação.

A nova população gerada após a aplicação dos operadores genéticos (cruzamento e mutação) deve ser avaliada da mesma forma que foi feito com a população inicial. Dos resultados apresentados, fica claro que o algoritmo vai rapidamente convergir para uma população que contém o cromossomo que corresponde ao máximo de  $f(x)$ .

### 6.3 Insumos para o GAADT-CM

A seção anterior fez uma breve apresentação dos algoritmos genéticos, a forma como eles resolvem problemas e a terminologia da área. Esta seção e as seguintes são inteiramente dedicadas a descrever o projeto e o desenvolvimento do algoritmo genético denominado de *GAADT-CM* pela sua especificidade na manipulação de mapas conceituais.

O objetivo fundamental do *GAADT-CM* é, dado um MC do estudante, encontrar seu(s) correlato(s) mais próximo(s) que esteja(m) de acordo com uma ontologia de domínio inserida pelo professor<sup>7</sup>. Em outras palavras, espera-se que o AG<sup>8</sup>, a partir de um domínio bastante extenso - o conjunto de todos os possíveis mapas conceituais corretos, criados a partir de uma determinada ontologia de domínio - possa encontrar aquele (ou aqueles) semanticamente mais próximos do mapa submetido pelo estudante ( $MC_{est}$ ). Desta forma, o estudante pode, com o auxílio do avaliador do ambiente, identificar quais das suas concepções (conceitos, diferenciações, relações cruzadas) divergem daquilo que é esperado pelo professor. A Figura 6.2 mostra um diagrama de blocos representando o funcionamento do *GAADT-CM*, suas entradas e o resultado que se espera do seu funcionamento.

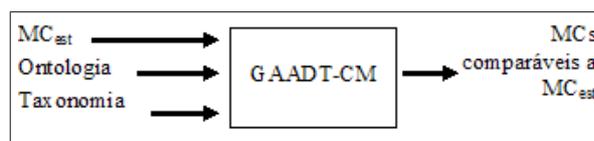


Figura 6.2 – Insumos para o *GAADT-CM*

A taxonomia de frases de ligação, o modelo e a função das ontologias no ambiente estão detalhadamente descritos no Capítulo 5. O mapa conceitual do estudante ( $MC_{est}$ ) é a mais importante entrada para o *GAADT-CM*. O processo de construção de mapas no ambiente é explicado com boa quantidade de detalhes no Apêndice D.

### 6.4 Funcionamento do *GAADT-CM*

O funcionamento do *GAADT-CM* foi definido inteiramente por meio de axiomas e funções matemáticas em Rocha et al. (2004a). Tais definições, entretanto, não são mapeáveis de forma direta para suas implementações algorítmicas. Assim, um dos objetivos desta seção é esclarecer como colocar em prática, algorítmicamente, as definições e funções contidas no artigo supracitado.

<sup>7</sup>A definição do termo *ontologia*, segundo a ótica adotada nesta tese, foi apresentada no Capítulo 5.

<sup>8</sup>Neste capítulo, as siglas *GAADT-CM* e AG foram usadas indistintamente.

### 6.4.1 Definição de um alfabeto

Os cromossomos manipulados pelo AG são mapas conceituais e estes podem ser descritos em termos de suas proposições constituintes. Assim sendo, pode-se matematicamente considerar um MC como um conjunto de proposições. O MC da Figura 6.3, por exemplo, pode ser descrito pelo conjunto  $c = \{g_1, g_2, g_3, g_4\}$ , onde  $g_1 = \langle \text{APRENDIZAGEM HUMANA, pode ser, APRENDIZAGEM COGNITIVA} \rangle$ ,  $g_2 = \langle \text{APRENDIZAGEM HUMANA, pode ser, APRENDIZAGEM AFETIVA} \rangle$ ,  $g_3 = \langle \text{APRENDIZAGEM HUMANA, pode ser, APRENDIZAGEM PSICOMOTORA} \rangle$ , e  $g_4 = \langle \text{APRENDIZAGEM AFETIVA, influencia, APRENDIZAGEM COGNITIVA} \rangle$ . A ordem dos elementos do conjunto  $c$  não é relevante para a sua construção.

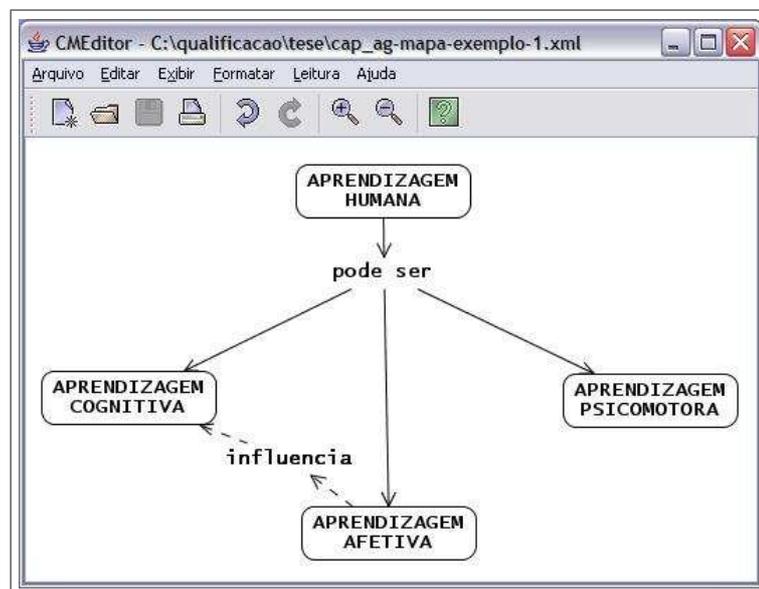


Figura 6.3 – Mapa conceitual sobre aprendizagem humana

Um cromossomo, por sua vez, pode ser descrito em termos das proposições constituintes do MC que lhe é subjacente. Neste capítulo, estas proposições são chamadas de genes. Os genes são agrupamentos de conceitos e relações que, por sua vez, são chamados de bases. Em decorrência, formula-se a seguinte definição:

**Definição 6.4.1** O conjunto base  $B$  é o conjunto de todas as unidades elementares que podem ser usadas na formação do material genético dos cromossomos de uma população.

$$B = \text{CONCEITO} \cup \text{RELAÇÃO} \cup \{b_\lambda\},$$

onde:

- $b_\lambda$  é denominado de base-inócua e tem como finalidade permitir o tratamento matemático do conjunto  $B$ ;

- CONCEITO é o conjunto dos conceitos existentes na ontologia do domínio referente à tarefa de aprendizagem em questão; (ver Capítulo 5)
- RELAÇÃO é o conjunto de todas as 3-upla DIMENSÃO-RELAÇÃO × FRASE-DE-LIGAÇÃO × TIPO-DE-APRENDIZAGEM, onde DIMENSÃO-RELAÇÃO é a dimensão ou cadeia taxonômica descrita pelo professor em uma ontologia de domínio acrescentada pelas dimensões inferidas automaticamente pela máquina de inferência do ambiente, FRASE-DE-LIGAÇÃO é o conjunto de todas as frases de ligação classificadas sob a mesma dimensão na taxonomia, e TIPO-DE-APRENDIZAGEM pertence ao conjunto {d,r} e indica o tipo de aprendizagem (diferenciação progressiva ou reconciliação integrativa) que se deseja representar.

Em termos mais simples, pode-se dizer que o conjunto base B é o conjunto de todos os conceitos mais todas as relações, explícitas e implícitas, com frases de ligação com dimensão igual ou próxima<sup>9</sup> à definida pelo professor.

Um exemplo simples ilustra a construção do conjunto base B. Supondo que o professor tenha inserido a ontologia descrita na Figura 6.4 e a taxonomia para a dimensão em questão possua as frases de ligação listadas na Tabela 6.4, o conjunto base B pode ser visto na Figura 6.5.

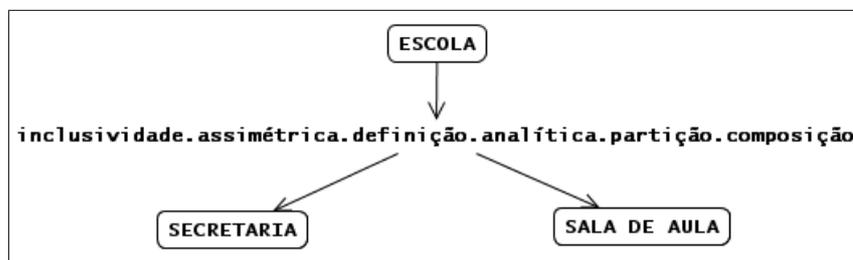


Figura 6.4 – Exemplo de uma ontologia simples

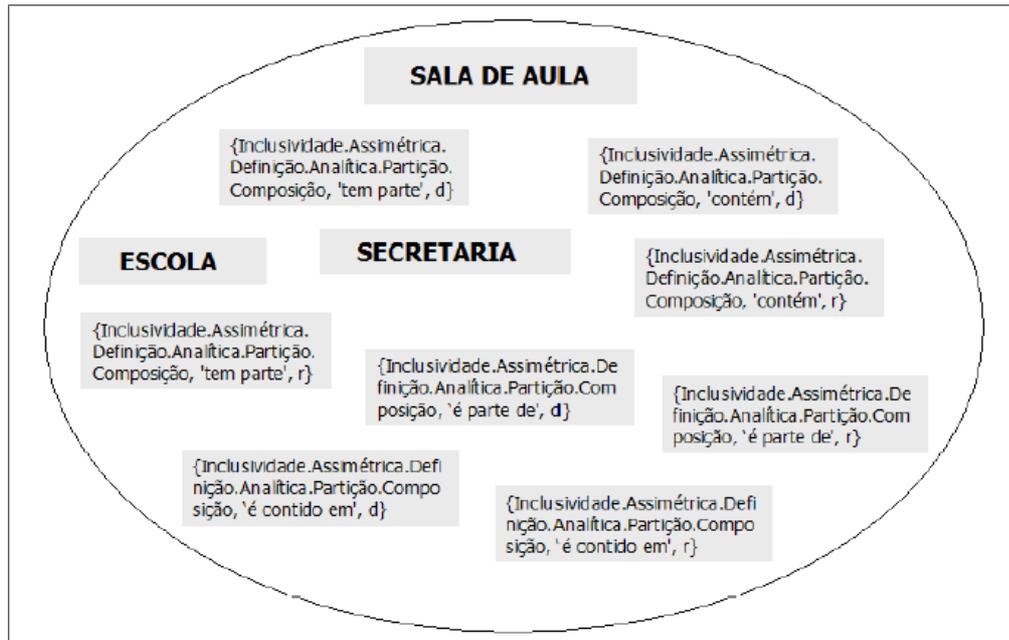
### 6.4.2 Formação dos genes

Uma vez determinado o conjunto base B, o próximo passo é determinar o alfabeto. O alfabeto de um AG é o conjunto de elementos a partir dos quais os cromossomos são formados (Goldberg, 1989). Em uma representação binária, por exemplo, o alfabeto é composto apenas de dois elementos (0 e 1). No problema que está sendo tratado, contudo, o alfabeto é muito mais rico.

<sup>9</sup>A noção de proximidade semântica já vem embutida no ambiente como sendo as frases de ligação que se encontram classificadas sob a mesma cadeia taxonômica. Entretanto, o *On\_Tool*, o editor de ontologias do ambiente, pode colocar à disposição do professor um sistema de edição de regras que permita estender essa definição inicial de proximidade. Com esse sistema, o professor poderá, por exemplo, considerar ramos diferentes da árvore taxonômica como semanticamente próximos para a tarefa de aprendizagem relacionada à ontologia corrente.

**Tabela 6.4** – Exemplos de frases de ligação classificadas na cadeia taxonômica **Inclusividade.Assimétrica.Definição.Analítica.Partição.Composição**

Inclusividade.Assimétrica.Definição.Analítica.Partição.Composição
'tem parte'
'é parte de'
'contém'
'é contido em'



**Figura 6.5** – Conjunto base B gerado pela união de conceitos e relações

Os mapas conceituais (cromossomos) podem ser compostos por várias proposições (genes). Assim, antes mesmo de definir a população inicial, é necessário gerar o alfabeto, ou seja, os genes que, combinados, formarão os cromossomos.

Os *axiomas formadores de genes* determinam como os genes são formados a partir de combinações de elementos do conjunto base B. Assim, o alfabeto pode ser definido da seguinte maneira:

**Definição 6.4.2** O conjunto gene **G** é o conjunto de todas as seqüências formadas pelos elementos da base que satisfazem o AFG, onde AFG é o conjunto dos axiomas formadores de genes.

Os axiomas garantem que as relações expressas pelos elementos de **G** pertencem à ontologia considerada. Para cada conceito da ontologia que inicia uma relação binária haverá um axioma semelhante a  $afg_1$  (criado para o exemplo específico da ontologia descrita na Figura 6.4):

$$\triangleright afg_1 \equiv (\forall g_k \in G \ c_{k,i} = \text{ESCOLA} \wedge c_{k,j} \in \{\text{SALA DE AULA, SECRETARIA}\} \rightarrow e_{k,1} = \text{In}$$

clusividade.Assimétrica.Definição.Analítica.Partição.Composição  $\wedge e_{k,2} \in \{ 'tem parte', 'contém', 'é parte', 'é contido' \} \wedge e_{k,3} \in \{d,r\}$ ), lê-se: “para todo gene  $g_k$  com o componente  $c_{k,i}$  igual ao conceito ESCOLA e o componente  $c_{k,j}$  pertencente ao conjunto de conceitos {SALA DE AULA, SECRETARIA}, então a relação só poderá ser do tipo Inclusividade.Assimétrica.Definição.Analítica.Partição.Composição com as frases de ligação pertencentes ao conjunto { 'tem parte', 'contém', 'é parte', 'é contido' }. A relação pode ser aprendida por diferenciação progressiva ou reconciliação integrativa”

Algoritmicamente, axiomas formadores de genes podem ser entendidos como métodos que recebem como entrada o conjunto base B (armazenado em uma estrutura de dados apropriada, como um vetor) e a ontologia de domínio (em XML) e compõem 3-uplas (genes), obedecendo o estabelecido pela ontologia, ou seja, os conceitos que originam relações binárias na ontologia (conceitos origem) devem originar as proposições representadas pelos genes. Além disso, as frases de ligação escolhidas devem estar no conjunto de frases de ligação com a mesma dimensão ou com uma dimensão semanticamente próxima da estabelecida pelo professor na ontologia de domínio. Uma vez gerados os genes, eles devem ser armazenados em uma estrutura de dados apropriada um vetor alfabeto, que será consultado toda vez que for necessário criar um novo cromossomo. O alfabeto gerado com a ontologia da Figura 6.4 e a taxonomia da Tabela 6.4 pode ser visto na Figura 6.6. As linhas cheias representam aprendizagem por diferenciação progressiva ( $e_{k,3} = d$ ) e as linhas tracejadas representam reconciliação integrativa ( $e_{k,3} = r$ ).

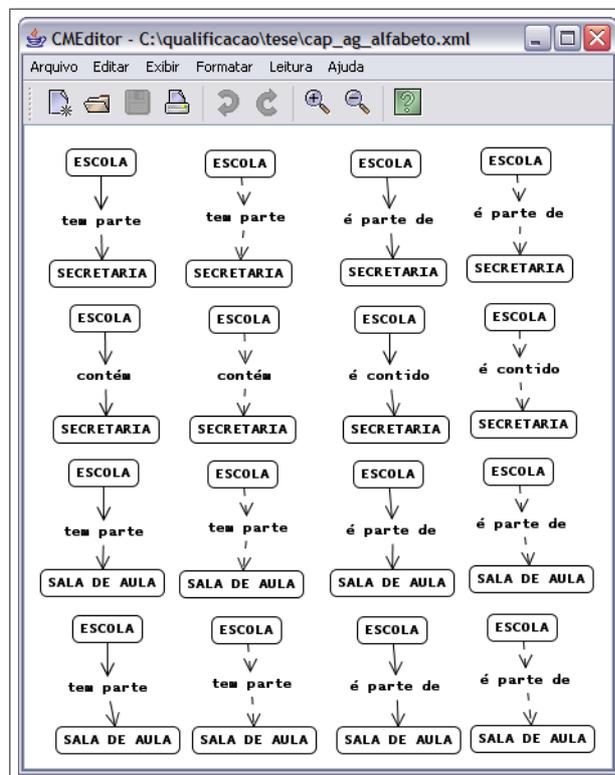


Figura 6.6 – Conjunto G (alfabeto) para o ontologia da Figura 6.4

## 6.5 A primeira população de MCs

Na Seção 6.4.2 foi definido o conjunto de genes a partir dos quais os cromossomos são formados. Esse conjunto de genes é chamado de alfabeto do algoritmo genético. Nesta seção detalha-se como os genes são agrupados para formar a primeira população de cromossomos.

O tamanho da população inicial é um parâmetro importante em qualquer algoritmo genético, pois determina a quantidade de elementos que serão usados para pesquisar o domínio na busca pelo ponto ótimo da função sob análise. Ele deve ser uma fração do tamanho do domínio que se deseja pesquisar. Assim, o primeiro passo é descobrir o tamanho desse domínio.

Conforme mostrado na Seção 6.4.2, o alfabeto é formado pelo conjunto gene  $G$ . Os cromossomos gerados por este alfabeto, comparáveis ao  $MC_{est}$ , são aqueles que possuem o mesmo número de proposições, ou seja, a mesma cardinalidade ( $\#$ ). Assim, o tamanho do domínio é a quantidade de MCs diferentes com tamanho igual a  $MC_{est}$  que podem ser gerados utilizando-se o alfabeto. O cálculo exato do número de MCs possíveis deve desconsiderar MCs que não sejam conexos e MCs que tenham ciclos, de acordo com o que está relatado em Rocha & Favero (2004). Uma aproximação desse valor pode ser calculada usando a combinação definida pela Equação 6.1 (Gersting, 2004):

$$C_{\#G}^{\#MC_{est}} = \frac{\#G!}{\#MC_{est}!(\#G - \#MC_{est})!} \quad (6.1)$$

Aplicando a fórmula de aproximação da Equação 6.1 para o exemplo descrito na Seção 6.4.2 (Figura 6.6 e Tabela 6.4), o tamanho do domínio, considerando que o mapa do aluno possui duas proposições, vale<sup>10</sup>:

$$C_{\#G}^{\#MC_{est}} = \frac{16!}{2!(16 - 2)!} = 120 \quad (6.2)$$

Seguindo este raciocínio, pode-se estabelecer que o tamanho da população inicial é uma diminuta fração do domínio, da seguinte forma<sup>11</sup>:

$$\#PopInicial = r \times \frac{\#G!}{\#MC_{est}!(\#G - \#MC_{est})!} \quad (6.3)$$

com  $r > 0$  e  $r \ll 1$ .

Definido o tamanho da população inicial, o passo seguinte é criar os cromossomos. Este processo de criação deve assegurar que os MCs não conexos e cíclicos<sup>12</sup> sejam descartados.

A exclusão dos mapas desconexos e cíclicos se dá pela aplicação de dois axiomas de formação de cromossomos listados a seguir:

<sup>10</sup>Incluindo mapas cíclicos e os não conexos

<sup>11</sup> $r = 1$  na Equação 6.3 implica em fazer uma busca linear por todo o domínio, o que é indesejado.

<sup>12</sup>Os não conexos são descartados por não simularem aprendizagem e os cíclicos por infringirem as regras de formalização dos nível hierárquico dos conceitos de um MC. Para mais detalhes ver Rocha & Favero (2004)

- ▷  $afc_1 \equiv (\forall c \in C, \forall g_i, g_k \in c, \exists g_{i+1}, \dots, g_{k-1} \wedge \exists i \in \{1, 2, \dots, k-1\} | c_{i,1}=c_{i+1,1} \vee c_{i,1}=c_{i+1,2} \vee c_{i,2}=c_{i+1,1} \vee c_{i,2}=c_{i+1,2})$ , lê-se para todo cromossomo  $c$  cujo conjunto de genes tem cardinalidade maior ou igual a  $k$ , existe pelo menos um caminho entre todos os seus pares de genes  $g_i, g_k$  percorrendo os genes de  $c$  no sentido  $g_i$  para  $g_{i+1}$  ou  $g_{i+1}$  para  $g_i$ , que começa no conceito  $c_{i,1}$  e termina no conceito  $c_{k,2}$ , em outras palavras o grafo subjacente ao mapa conceitual representado por  $c$  é conexo;
- ▷  $afc_2 \equiv (\forall c \in C, \exists x \in C (x = \{g_i | \forall g_i \in c e_{i,3}=d\}) \wedge (\forall g_i, g_k \in x, \exists g_{i+1}, \dots, g_{k-1} \in c \wedge \exists i \in \{1, 2, \dots, k-1\} | c_{i,1}=c_{i+1,1} \vee c_{i,1}=c_{i+1,2} \vee c_{i,2}=c_{i+1,1} \vee c_{i,2}=c_{i+1,2}))$ , lê-se para todo cromossomo  $c$  existe um cromossomo  $x$ , cujo conjunto de genes é um subconjunto próprio do conjunto de genes de  $c$ , composto somente por proposições apreendidas por diferenciação progressiva, cujo grafo subjacente é uma árvore, ou seja, o grafo subjacente de um mapa conceitual que representa aprendizagem por diferenciação progressiva é um grafo conexo acíclico.

A implementação algorítmica da geração da população inicial, respeitando os axiomas  $afc_1$  e  $afc_2$ , compreende os seguintes passos:

1. Criação do candidato a MC:

- (a) Inicializar TamPopulação = 0
- (b) Definir um candidato a mapa conceitual  $mc_1 = \emptyset$ ;
- (c) Escolher um gene aleatório ( $g$ ) do conjunto gene  $G$ ;
- (d) Verificar se  $g$  já existe em  $mc_1$ ;
- (e) Caso  $g$  não exista em  $mc_1$ , adicioná-lo a  $mc_1$ ;
- (f) Repetir os passos 1(c) a 1(a) até que  $\#mc_1 = \#MC_{est}$ .

2. Verificação de ciclos no candidato a MC:

- (a) Armazenar o primeiro conceito ( $c_1$ ) do primeiro gene de  $mc_1$  em um vetor de conceitos visitados;
- (b) Adicionar ao vetor de conceitos visitados todos os vizinhos de  $c_1$ . São vizinhos os conceitos ligados a  $c_1$  por genes não presentes em  $G_{descart}$ <sup>13</sup> e cuja aprendizagem seja diferenciação progressiva ( $e_{k,3}=d$ );
- (c) Se um dos vizinhos adicionados no passo anterior já existir previamente no vetor de conceitos visitados, então há ciclo. Descartar  $mc_1$  e voltar ao passo 1(b);

<sup>13</sup> $G_{descart}$  é uma estrutura auxiliar usada na detecção de ciclos no cromossomo recém construído.

- (d) Caso contrário, adicionar os genes percorridos em  $G_{descart}$  e voltar ao passo 2b para adicionar ao vetor de conceitos visitados os vizinhos dos vizinhos de  $c_1$
- (e) Repetir de 2(b) a 2(d) até que se encontre um ciclo ou até que não haja mais genes a serem percorridos em  $mc_1$ .

3. Verificação de desconexão no candidato a MC:

- (a) Esvaziar  $G_{descart}$  e o vetor de conceitos visitados;
- (b) Armazenar o primeiro conceito ( $c_1$ ) do primeiro gene de  $mc_1$  no vetor de conceitos visitados;
- (c) Adicionar ao vetor de conceitos visitados todos os vizinhos de  $c_1$ . São vizinhos os conceitos ligados a  $c_1$  por genes não presentes em  $G_{descart}$ , independentemente do tipo de aprendizagem;
- (d) Adicionar os genes percorridos no passo anterior em  $G_{descart}$ ;
- (e) Adicionar ao vetor de conceitos visitados todos os vizinhos de  $c_2$ , onde  $c_2$  é o elemento seguinte no vetor de conceitos visitados;
- (f) Repetir o passo anterior para todos os conceitos existentes no vetor de conceitos visitados;
- (g) Se, ao fim do laço anterior, houver algum conceito de  $mc_1$  não presente no vetor de conceitos visitados, então há desconexão no candidato a MC. Portanto, deve-se descartar  $mc_1$  e voltar para o passo 1(b).

4. Finalização:

- (a) Armazenar  $mc_1$  como um MC válido e incrementar TamPopulação de uma unidade;
- (b) Repetir a partir do passo 1(b) até que  $TamPoPulação = \#PopInicial$ .

O resultado desse algoritmo descrito é uma população inicial definida, composta por mapas conceituais conexos e acíclicos. A seção seguinte mostra como os operadores genéticos atuam sobre os cromossomos, fazendo com que gerações sucessivas de cromossomos se aproximem de  $MC_{est}$ .

## 6.6 Evolução das Gerações de MCs

Esta seção descreve como se dá a evolução das gerações no *GAADT-CM*. O objetivo do algoritmo é convergir para um ponto semanticamente próximo de  $MC_{est}$ . Para isso, é necessário definir operadores genéticos que atuem sobre os cromossomos, selecionando-os, cruzando-os e mutando-os, conforme seja necessário.

Na seção anterior foi mostrado como dá a criação da população inicial de cromossomos do *GAADT-CM*. O próximo passo é selecionar, dentro desta população inicial, os cromossomos melhor adaptados. A estes cromossomos será dada a oportunidade de passar seus genes para a próxima geração de MCs. Assim, o primeiro passo é definir a forma de cálculo da adaptação (*fitness*) de um cromossomo, o que é feito utilizando a função *adapt*, definida como se segue:

**Definição 6.6.1** O grau de adaptação de um cromossomo é uma função  $\mathbf{adapt}: \mathbf{C} \rightarrow \mathbf{R}$ , tal que:

$$\mathit{adapt}(c) = \left( \sum_{g \in c} \theta \times \mathit{grau}(g) \right) - \#(MC_{est} - c)$$

A função *adapt* recebe um cromossomo e calcula a soma ponderada do grau de adaptação de cada um dos seus genes. O valor do coeficiente de ponderação ( $\theta$ ) representa o quanto um dado gene é importante para a construção de um mapa conceitual semanticamente próximo de  $MC_{est}$ . Ele foi definido empiricamente com os seguintes valores para as seguintes situações:

- (a)  $\theta$  vale 3 se ambos os conceitos do gene existirem em  $MC_{est}$  e estiverem conectados entre si;
- (b)  $\theta$  vale 2 se ambos os conceitos do gene existirem em  $MC_{est}$  e não estiverem conectados entre si;
- (c)  $\theta$  vale 1 se apenas um dos conceitos do gene existirem em  $MC_{est}$ ;
- (d)  $\theta$  vale 0, caso contrário.

Adicionalmente, o valor da adaptação de um cromossomo é decrementado em uma unidade para cada conceito existente em  $MC_{est}$  e inexistente no cromossomo.

Decorre da definição anterior que, para calcular o grau de adaptação de um cromossomo, é necessário primeiramente calcular o grau de adaptação de cada um de seus genes. Para isso, faz-se uso da função *grau*, definida como:

**Definição 6.6.2** O grau de adaptação de um gene é uma função  $\mathbf{grau}: \mathbf{G} \rightarrow \mathbf{R}$ , tal que:

$$\mathbf{grau}(g_k) = \alpha_k + 2\beta_k$$

A estratégia construtivista usada no *CMTTool* para avaliar a aprendizagem fica patente agora: os parâmetros envolvidos na definição do grau dos genes foram projetados para favorecer, diferenciadamente, aqueles cuja formação - conceitos e frases de ligação - coincidirem com as escolhas do professor no momento da construção da ontologia (parâmetro  $\alpha_k$ ), e com as escolhas do estudante no momento do desenho de  $MC_{est}$  (parâmetro  $\beta_k$ ). A Tabela 6.5 mostra os valores admissíveis para  $\alpha$  e  $\beta$  e as circunstâncias em que eles se aplicam.

**Tabela 6.5** – Valores admissíveis dos parâmetros que intervêm no cálculo do grau de um gene

Parâmetro	Valor	Quando é usado
$\alpha$	1	A frase de ligação do gene <b>não coincide</b> com a escolha feita pelo professor ao desenhar a ontologia para nenhuma ligação envolvendo qualquer dos dois conceitos do gene;
	2	A frase de ligação do gene <b>coincide</b> com uma das frases de ligação consideradas como preferenciais pelo professor ao desenhar a ontologia, para alguma conexão envolvendo qualquer um dos dois conceitos do gene;
$\beta$	1	A frase de ligação do gene <b>não coincide</b> com a escolha feita pelo aluno ao desenhar $MC_{est}$ em nenhuma ligação envolvendo qualquer dos dois conceitos do gene;
	2	A frase de ligação do gene <b>coincide</b> completamente com a frase de ligação usada pelo aluno em alguma ligação envolvendo qualquer um dos conceitos do gene existente em $MC_{est}$

Em decorrência das possibilidades apresentadas na Tabela 6.5, podem acontecer as seguintes situações: (i) gene cuja frase coincide com a do professor e com a do aluno tem favorecimento muito alto; (ii) gene cuja frase coincide com a do aluno e não com a do professor tem favorecimento alto; (iii) gene cuja frase coincide somente com a do professor tem favorecimento médio; e (iv) gene cuja frase não coincide nem com a do aluno e nem com a do professor tem favorecimento baixo. Assim, no decorrer das gerações, os cromossomos que tiverem mais genes coincidentes com as definições dadas por aluno e professor serão favorecidos na “luta pela sobrevivência” com outros cromossomos discordantes do aluno e do professor. Observa-se ainda que, na ocorrência de competição entre dois genes corretos, um coincidente com uma definição do aluno, e outro coincidente com uma definição do professor, prevalecerá o primeiro em respeito ao estilo de aprendizagem do aluno e à sua forma de construir conhecimento.

Em relação aos genes inferidos, observa-se que eles sempre pertencerão à ontologia, embora não estejam explícitos. Para assinalar este fato, estes genes terão uma marca especial que será reconhecida pelo AG quando do cálculo da adaptação. Para um gene inferido, o valor do parâmetro  $\alpha$  será sempre 2.

Aplicando-se a estratégia recém descrita no exemplo da Seção 6.4.1 e supondo que as frases de enlace escolhidas para o professor para sua ontologia foram {'tem parte', 'contém'}, o gene

$g_1 = \langle \text{ESCOLA, tem parte, SALA DE AULA} \rangle$  tem grau igual = 6, pois representa uma relação binária prevista na ontologia, com a mesma cadeia taxonômica e a mesma frase de ligação, ou seja,  $\alpha = 2$  e  $\beta = 2$ . Seguindo o mesmo raciocínio, o gene  $g_2 = \langle \text{ESCOLA, é contido em SECRETARIA} \rangle$  possui grau 4.

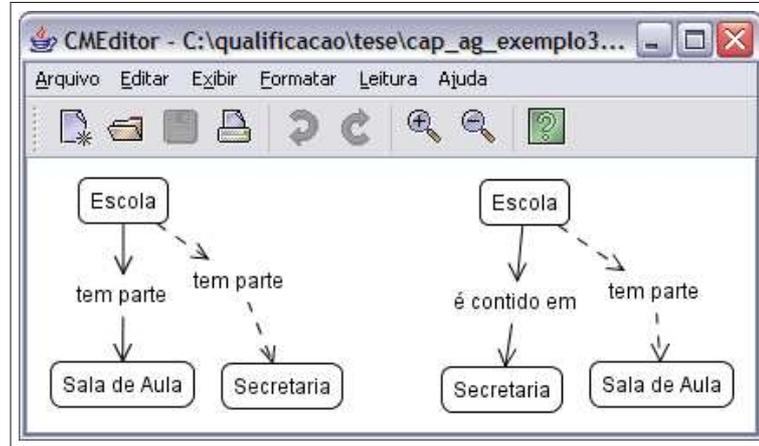


Figura 6.7 – MC inserido pelo estudante e MC gerado pelo GAADT-CM

Uma vez detalhado a forma de cálculo do grau de um gene, pode-se voltar ao cálculo da adaptação de um cromossomo. Supondo o  $MC_{est}$  ilustrado na Figura 6.7, a adaptação do cromossomo  $mc_1$  (também na Figura 6.7), é calculado da seguinte maneira:

$$adapt(mc_1) = \left( \sum_{g \in mc_1} \theta \times grau(g) \right) - \#(MC_{est} - mc_1) = ((6 \times 3) + (4 \times 3)) - 0 = 30$$

Uma vez calculados os valores de adaptação de todos os cromossomos de uma população, computa-se a adaptação média da população somando-se o valor da adaptação de cada cromossomo e dividindo o resultado pelo número de cromossomos. Este valor é importante para a seleção dos cromossomos que irão transmitir seus genes para as gerações posteriores. Esta seleção é feita com a função *sel*, definida como se segue:

**Definição 6.6.3** A seleção é uma  $sel: \mathbf{P} \rightarrow \mathbf{P}$ , tal que:  $sel(\{c_1, c_2, \dots, c_n\}) = \{c_i \mid adapt(c_i) \geq média(\mathbf{P})\}$ , onde  $média(\mathbf{P})$  é a adaptação média da população

Como resultado da aplicação da função de seleção, consegue-se um subconjunto da população somente com os cromossomos melhor adaptados. O próximo passo é escolher aleatoriamente pares de cromossomos para a fecundação.

A fecundação é uma função que recebe um par de cromossomos como entrada e retorna um conjunto de genes dominantes provenientes desses cromossomos. Para facilitar a compreensão desta função fecundação, inicialmente define-se como um gene é considerado dominante, quando comparado com outro. Isso é feito com a função *domi*.

A função *domi*, definida a seguir, recebe como entrada dois genes e retorna o gene com maior grau de adaptação. Caso os genes recebidos não possuam nenhum conceito em comum, não é possível compará-los. Nesse caso, a função retorna  $g_\lambda$  (chamado de *gene-inócuo*), ou seja, um gene vazio.

**Definição 6.6.4** O gene dominante é uma função  $\mathbf{domi}: \mathbf{G} \times \mathbf{G} \rightarrow \mathbf{R}$ , tal que:

$$\mathbf{domi}(g_1, g_2) = \begin{cases} g_1, & \text{se } ((c_{1,1}=c_{2,1}) \vee (c_{1,1}=c_{2,2}) \vee (c_{1,2}=c_{2,1}) \vee (c_{1,2}=c_{2,2})) \wedge (\text{grau}(g_1) > \text{grau}(g_2)); \\ g_2, & \text{se } ((c_{1,1}=c_{2,1}) \vee (c_{1,1}=c_{2,2}) \vee (c_{1,2}=c_{2,1}) \vee (c_{1,2}=c_{2,2})) \wedge (\text{grau}(g_1) \leq \text{grau}(g_2)); \\ g_\lambda, & \text{se } ((c_{1,1} \neq c_{2,1}) \wedge (c_{1,1} \neq c_{2,2}) \wedge (c_{1,2} \neq c_{2,1}) \wedge (c_{1,2} \neq c_{2,2})) \end{cases}$$

Nessa definição,  $c_{i,j}$  representa o conceito  $i$  do gene  $g_j$ .

A função fecundação, definida a seguir, seleciona o material genético que irá ser herdado pela próxima geração de cromossomos. Ela faz isso comparando os genes de pares de cromossomos selecionados pela função *sel*.

**Definição 6.6.5** A fecundação é uma função  $\mathbf{fec}: \mathbf{C} \times \mathbf{C} \rightarrow \wp(\mathbf{G})$ , tal que:

$$\mathbf{fec}(c_1, c_2) = \{g \mid \forall g_1 \in c_1 \forall g_2 \in c_2 \ g = \mathbf{domi}(g_1, g_2)\}$$

Por exemplo, dados os cromossomos  $c_1 = \{g_1 = \langle \text{EVAPORAÇÃO}, (\text{TEMPORAL}, \text{precede}, d), \text{CONDENSAÇÃO} \rangle, g_2 = \langle \text{CONDENSAÇÃO}, (\text{PROCESSO}, \text{resulta em}, d), \text{ORVALHO} \rangle\}$  e  $c_2 = \{g_3 = \langle \text{CICLO DA AGUA}, (\text{TEMPORAL}, \text{tem fase}, d), \text{CONDENSAÇÃO} \rangle, g_4 = \langle \text{CICLO DA AGUA}, (\text{TEMPORAL}, \text{tem fase}, d), \text{EVAPORAÇÃO} \rangle\}$ , se  $\text{grau}(g_1) = \text{grau}(g_3) = \text{grau}(g_4) = 30$  e  $\text{grau}(g_2) = 24$ , então  $\mathbf{fec}(c_1, c_2) = \{\mathbf{domi}(g_1, g_3), \mathbf{domi}(g_2, g_3), \mathbf{domi}(g_1, g_4), \mathbf{domi}(g_2, g_4)\} = \{g_3, g_4\}$ .

Algoritmicamente, descreve-se o uso das funções *sel* e *fec* como os seguintes passos:

1. Dada uma população P, calcular a adaptação de cada um dos seus cromossomos;
2. Com os resultados obtidos, calcular a adaptação média da população P;
3. Armazenar os cromossomos com adaptações maiores que a adaptação média de P em uma estrutura de dados apropriada (*vetor\_selecionados*). Estes são os cromossomos escolhidos para reprodução;
4. Escolher aleatoriamente dois cromossomos de *vetor\_selecionados*;
5. Retirar os cromossomos escolhidos de *vetor\_selecionados*;
6. Comparar o primeiro gene do primeiro cromossomo com cada um dos genes do segundo cromossomo e armazenar os genes dominantes em um estrutura de dados apropriada (*vetor\_genes\_dominantes*). Um gene só deve ser armazenado na estrutura se ele ainda não existir na mesma;

7. Repetir o passo anterior para todos os outros genes do primeiro cromossomo;
8. Repetir a partir do passo 4 até que não haja mais cromossomos em vetor\_selecionados.

Ao final deste algoritmo, os genes dominantes dos diversos “acasalamentos” que ocorreram entre os cromossomos estarão armazenados numa estrutura de dados. Esses genes dominantes são então agrupados em novos cromossomos, que comporão a nova população. Para isso, define-se a função *cruz* da seguinte maneira:

**Definição 6.6.6** O cruzamento é uma função **cruz: sel(P) × sel(P) → P(P)**, tal que:

$$cruz(a, b) = \{c \mid \forall c \in C \wedge \forall g \in c \ g \in (fec(a, b))\}$$

Dada a população  $P_1 = \{c_1 = \{g_1 = \text{EVAPORAÇÃO}, (\text{TEMPORAL}, \text{precede}, d), \text{CONDENSAÇÃO}\}, g_2 = \text{CONDENSAÇÃO}, (\text{PROCESSO}, \text{resulta em}, d), \text{ORVALHO}\}, c_2 = \{g_3 = \text{CICLO DA AGUA}, (\text{TEMPORAL}, \text{tem fase}, d), \text{CONDENSAÇÃO}\}, g_4 = \text{CICLO DA AGUA}, (\text{TEMPORAL}, \text{tem fase}, d), \text{EVAPORAÇÃO}\}, c_3 = \{g_5 = \text{CICLO DA AGUA}, (\text{TEMPORAL}, \text{tem fase}, d), \text{CONDENSAÇÃO}\}, g_6 = \text{CICLO DA AGUA}, (\text{TEMPORAL}, \text{tem como fase}, d), \text{EVAPORAÇÃO}\}\}$ , se  $\text{grau}(g_1) = \text{grau}(g_5) = \text{grau}(g_6) = 30$  e  $\text{grau}(g_2) = 24$ , então  $cruz(c_1, c_3) = \{\{g_5, g_6\}\}$  já que  $fec(c_1, c_3) = \{g_5, g_6\}$ , ou seja o cruzamento do par de cromossomos  $(c_1, c_3)$  tem como resultado o cromossomo  $c_3$ .

Algoritmicamente, esta função *cruz* é implementada como descrito na Seção 6.5. A única diferença é que agora os genes que vão formar os cromossomos são escolhidos no vetor de genes dominantes que resultou da operação de fecundação.

Ao final da execução do algoritmo de cruzamento, haverá uma nova população de MCs. Na sequência, alguns elementos dessa nova população sofrerão mutação, sendo a escolha dos indivíduos feita ao acaso<sup>14</sup>. A finalidade das mutações é dispersar a população pelo espaço de busca, evitando que o AG fique preso em mínimos/máximos locais (Goldberg, 1989). No caso específico do *GAADT-CM*, as mutações tentam evitar que o material genético das populações fique tão restrito que acabe convergindo longe de  $MC_{est}$ .

No *GAADT-CM*, duas funções são importantes para a operação de mutação: a função *troc* e a função *mut*, definidas a seguir:

**Definição 6.6.7** A troca é uma função **troc: C × P(G) × P(G) → C**, tal que:

$$troc(c, G_1, G_2) = (c - G_1) \cup G_2$$

<sup>14</sup>O valor da probabilidade mutação, que determina se determinado cromossomo sofrerá ou não mutação, é um dos parâmetros do AG.

**Definição 6.6.8** A mutação é uma função **mut**:  $\mathbf{C} \rightarrow \mathbf{P}$ , tal que:

$$mut(a) = \{c \mid \forall G_1, G_2 \in \wp(G) (G_1 \subseteq a \wedge \#G_1 \leq (\#a)/2) c = troc(a, G_1, G_2)\}$$

A função *troc* remove um conjunto de genes do cromossomo de origem e lhe adiciona outro conjunto de genes (provenientes do alfabeto) de modo que o cromossomo resultante ainda atenda aos axiomas de formação de cromossomos, ou seja, os cromossomos resultantes devem ser conexos e acíclicos. A função *mut* é encarregada de limitar as eventuais mutações *a*, no máximo, metade dos genes do cromossomo mutado.

Algoritmicamente, essas funções são descritas com os seguintes passos:

1. Inicialização:
  - (a) Dada uma população  $P$ , escolher um cromossomo aleatório  $mc_1$  com uma probabilidade de mutação  $P_m$ ;
  - (b) Calcular o número de genes do cromossomo ( $\#mc_1$ );
  - (c) Gerar um número aleatório de *numero\_trocas* entre 1 e  $\frac{\#mc_1}{2}$ . Este é o número de genes que vai ser trocado em  $mc_1$ ;
  - (d) Escolher um gene aleatório de  $mc_1$  e retirá-lo de  $mc_1$ ;
  - (e) Escolher aleatoriamente um gene do alfabeto e inseri-lo em  $mc_1$ ;
  - (f) Repetir os passos 1(d) a 1(e) *numero\_trocas* vezes.
2. Verificação de ciclos no cromossomo mutado: idêntico ao que foi feito para a população inicial na Seção 6.5. No caso presente, se  $mc_1$  contiver ciclos, descartar as trocas realizadas e voltar ao passo 1(c);
3. Verificação de desconexão no cromossomo mutado: idêntico ao que foi feito para a população inicial na Seção 6.5. No caso presente, se  $mc_1$  for desconexo, descartar as trocas realizadas e voltar ao passo 1(c).

## 6.7 Técnicas adicionais utilizadas

Foram utilizadas diversas técnicas de construção de algoritmos genéticos na implementação do *GAADT-CM*. Uma destas técnicas (provavelmente a que mais agilizou o processo de busca) foi a Estratégia de Estado Estacionário (*Steady State*) (Limão, 2004). Esta estratégia define que os melhores cromossomos da geração anterior devem substituir os piores da nova geração. Com isso, garante-se que as adaptações máximas por geração não irão decrescer, já que os melhores mapas gerados estarão sendo preservados. A quantidade de indivíduos transportados da geração

anterior para a próxima é determinada por um parâmetro da técnica conhecido como *gap*. Se este percentual indicar que apenas um cromossomo (o melhor) deve ser transportado para a próxima geração, a estratégia é chamada de *elitismo*. A Figura 6.8 ilustra o funcionamento desta estratégia.

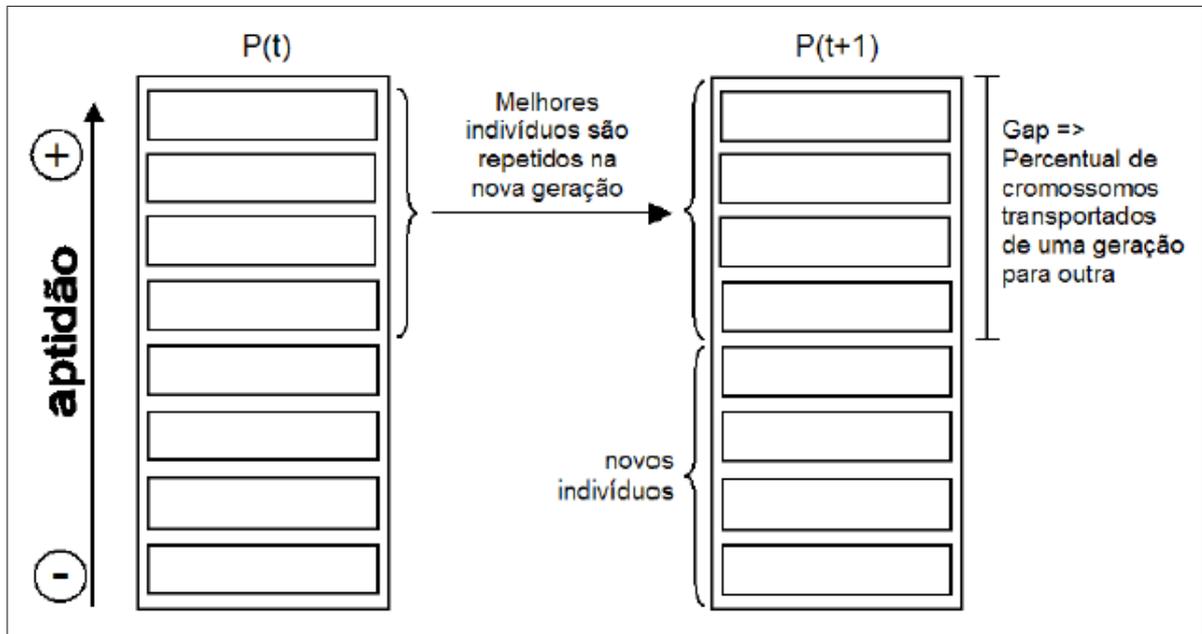


Figura 6.8 – Estratégia de estado estacionário (Limão, 2004)

Outra estratégia utilizada na implementação do *GAADT-CM* que merece ser mencionada é o uso de um Repositório de Genes Dominantes. Este repositório é criado depois que os melhores cromossomos são selecionados pela função *sel* (ver Seção 6.6) e são “acasalados” pela função *fec*. Os genes destes cromossomos são comparados, na busca pelos genes dominantes, que são colocados no repositório. A próxima geração é criada a partir dos genes neste repositório, que pode ser entendido como um subconjunto do alfabeto, com adaptação média maior do que a adaptação média do alfabeto original.

Pode-se inferir que esta técnica substitui técnicas mais tradicionais, como cruzamento de um ou dois pontos. Isso se dá porque pontos de corte, apesar de serem apropriados em codificações binárias, não se adequam bem a tipos abstratos de dados (utilizados em *GAADTs*). No caso de codificações binárias, as características de um cromossomo são expressas bit a bit. Entretanto, com mapas conceituais, as características são expressas proposição a proposição. Assim sendo, melhor do que misturar dois mapas conceituais, é identificar quais genes dos ancestrais são dominantes, e criar os cromossomos descendentes a partir destes genes.

## 6.8 Resultados obtidos

Nesta seção estão descritos alguns resultados obtidos com o protótipo do *GAADT-CM*. É importante enfatizar que, apesar de terem sido positivos, com efetiva convergência em direção a  $MC_{est}$ , os resultados aqui listados podem ser melhorados, principalmente em relação à determinação dos valores dos parâmetros do algoritmo.

### 6.8.1 Insumos Utilizados

Para testar o *GAADT-CM*, é necessário definir suas entradas. Conforme ilustrado na Figura 6.2, essas entradas incluem um mapa do estudante para avaliação, uma ontologia de domínio desenhada pelo professor e a taxonomia de frases de ligação. O mapa do estudante ( $MC_{est}$ ) utilizado nos testes pode ser visto na Figura 6.9, a ontologia é a ilustrada na Figura 1.3, e a taxonomia de frases de ligações é a que está no Anexo A.

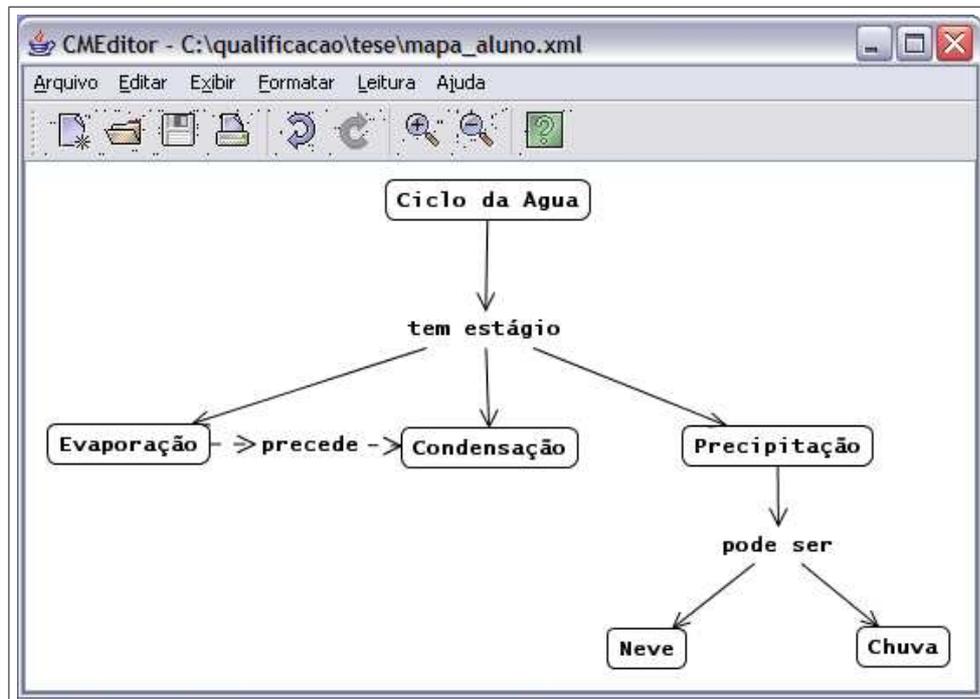


Figura 6.9 – Mapa do aprendiz utilizado nos testes

### 6.8.2 Análise de Resultados

Para verificar a validade do *GAADT-CM* uma quantidade importante de experimentos foram realizados. Apenas uma síntese dos resultados obtidos é apresentada aqui.

A análise desenvolvida sob dois aspectos: analisou-se o **comportamento** das gerações de mapas conceituais criados e a **confiabilidade** do algoritmo. Para analisar o **comportamento**

das gerações, foram escolhidos vários jogos de parâmetros (ver Tabela 6.6) e executado o algoritmo trinta(30) vezes - chamadas aqui de experimentos ou “corridas” - a cada experimento, armazenando os valores de adaptação dos melhores indivíduos de cada geração de cada corrida. Terminadas as 30 corridas de um experimento, tirou-se a média aritmética dos melhores indivíduos nas corridas, por geração. Se o comportamento das gerações tivesse sido avaliado em uma única corrida, haveria o risco interpretar erroneamente os resultados em razão de uma inicialização aleatória boa ou ruim demais. Ao analisar os resultados em várias corridas, diminui-se o efeito causado por uma inicialização excelente ou péssima.

Para analisar a **confiabilidade** do algoritmo, ele foi executado trinta (30) vezes em cada experimento, armazenando o valor do melhor indivíduo da última geração de cada corrida. Em outras palavras, foi armazenada a solução que cada corrida deu para o problema. De posse das diversas soluções, calculou-se a média, a variância e o desvio padrão. Esses valores definiram as distribuições Gaussianas que definiram a distribuição das probabilidades de obtenção de um determinado resultado.

### 6.8.3 Análise de Comportamento do GAADT-CM

Esta seção apresenta os resultados obtidos pelo algoritmo genético implementado, considerando a evolução das populações geradas em cada experimento. O significado de cada parâmetro usado nos experimentos está descrito na Tabela 6.6.

Os experimentos foram organizados de modo a sintonizar empiricamente cada um dos parâmetros da Tabela 6.6, com exceção do parâmetro corridas que ficou fixo para todos os experimentos<sup>15</sup>. Permaneceu fixa também a probabilidade de cruzamento, ou seja, considerou-se uma probabilidade de cruzamento igual a 1 (cruzamento em 100% dos acasalamentos) e o acasalamento em pares de cromossomos.

Dada a adaptação de um cromossomo, pode-se identificar se o mesmo é um ponto ótimo do domínio, ou seja, se é um mapa conceitual construído de acordo com a ontologia do professor e próximo de  $MC_{est}$ . Segundo a função de adaptação utilizada (ver Seção 6.6), cada proposição pode contribuir para a adaptação do cromossomo em, no máximo, seis unidades (6) e o peso ( $\theta$ ) pode valer no máximo três (3) unidades. Assim, identifica-se um ponto ótimo pela fórmula:

$$\mathbf{adapt}(c) = 3 \times \#MC_{est} \times 6$$

No caso do mapa do aprendiz utilizado, pontos ótimos são os que têm adaptação igual a 108 (pois  $\#MC_{est} = 6$ ).

---

<sup>15</sup>Este parâmetro apenas serve para coleta de dados e nada tem a ver com o desempenho do algoritmo. Por esta razão ele permaneceu fixo em 30 em todos os experimentos realizados.

**Tabela 6.6** – Parâmetros usados na implementação do *GAADT-CM*

Parâmetro	Significado
tam_pop	Tamanho da população, uma fração do espaço de busca do AG.
gap	Parâmetro que controla a aplicação da técnica de <i>Steady State</i>
prob_mutacao	A probabilidade de mutação. Controla a variabilidade genética da população.
prob_r	A probabilidade aceitar no cromossomo um gene simulando aprendizagem por reconciliação integrativa
geracoes	A quantidade de gerações de uma população do AG
corridas	Número de iterações dos experimentos

### 6.8.3.1 Definição do parâmetro *gap*

Para averiguar a influência da técnica de *Steady State* na qualidade dos cromossomos gerados pelo AG foram realizados quatro (4) experimentos. Nestes experimentos fixaram-se os parâmetros *tam\_pop*, *corridas*, *prob\_mut* e *prob\_r*, variando-se o valor do parâmetro *gap* em cada experimento. A Tabela 6.7 mostra os valores dos parâmetros usados nos experimentos.

Nesta primeira série de experimentos, utilizou-se um tamanho de população = 120 cromossomos<sup>16</sup>, um número de gerações = 60<sup>17</sup>, o que fornece 7200 indivíduos em cada corrida do algoritmo, probabilidade de mutação = 5%, ou seja, há apenas uma pequena chance de que um indivíduo sobrevivente numa população seja mutado<sup>18</sup> e probabilidade do mapa conter genes que representem aprendizagem por reconciliação integrativa da ordem de 10% (ver Cap. 2)<sup>19</sup>

<sup>16</sup>Considerando que a ontologia utilizada tem pouco menos de mil relações, incluindo as inferidas, verifica-se que 120 é uma porção ínfima do espaço de busca. Este valor corresponde a 20 vezes o tamanho de  $MC_{est}$

<sup>17</sup>Valor mínimo para este parâmetro obtido experimentalmente

<sup>18</sup>Pequenas probabilidades de mutação são bem realistas com o propósito dos algoritmos genéticos em geral (ver Goldberg (1989)).

<sup>19</sup>Num mapa conceitual apenas uma pequena parte das proposições refletem a aprendizagem realizada usando reconciliação integrativa. Uma razão é que este tipo de aprendizagem está ligado à criatividade do estudante e à descoberta de relações não usuais entre conceitos. Estima-se, empiricamente que a quantidade de proposições desta natureza variem, em média, entre 10 e 25% num mapa conceitual.

**Tabela 6.7** – Experimentos para ajuste do Parâmetro *gap*

Parâmetro	Valor	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4
tam_pop	120				
gap		0	1	2	3
prob_mutacao	0.05				
prob_r	0.10				
geracoes	60				
corridas	30				

Considerando os parâmetros definidos na Tabela 6.7, um experimento consiste de:

1. Rodar o *GAADT-CM* 30 vezes consecutivas (30 corridas);
2. Em cada corrida criar 60 gerações de 120 cromossomos cada;
3. Em cada geração coletar adaptação do melhor cromossomo e acumular o valor obtido com os valores coletados anteriormente, respeitando a ordem das gerações, ou seja, acumular a adaptação do melhor cromossomo da geração  $i$  da corrida  $j$ , como a adaptação do melhor cromossomo da geração  $i$  da corrida  $j + 1$ , assim sucessivamente;
4. Calcular a média aritmética da adaptação dos melhores cromossomos, respeitando a ordem das gerações, ou seja, a média dos melhores cromossomos da geração  $i$  corresponde ao valor acumulado das adaptações dos melhores cromossomos da geração  $i$  de todas as corridas, dividido pelo número de corridas;
5. Em cada corrida coletar a adaptação do cromossomo-solução<sup>20</sup>;
6. Ordenar os os valores coletados acima e, em seguida, calcular a média aritmética, a variância e os valores de probabilidades, considerando uma distribuição normal.

As Figuras 6.10, 6.11, 6.16 e 6.17 apresentam os resultados obtidos em cada experimento e a Figura 6.18 agrupa estes resultados individuais, permitindo uma visão comparativa.

Os Experimentos 1 ( $gap = 0$ ) e 2 ( $gap = 1$ ) apresentaram resultados bastante semelhantes. No primeiro caso, a média da adaptação dos melhores cromossomos em cada corrida atingiu o valor 94, com uma variância nula, enquanto que no segundo caso a média de adaptação dos melhores cromossomos atingiu o valor de 93.67, com uma variância de 3.33. Em ambos os casos,

<sup>20</sup>O cromossomo-solução de uma corrida é o último cromossomo da última população, é a solução que o AG deu para o problema em questão.

indivíduos apenas regulares foram gerados na primeira corrida. Estes resultados indicam que quando não se usa a técnica de *Steady State*, ou se usa somente *elitismo*, o AG gera indivíduos medíocres nas corridas iniciais, longe de  $MC_{est}$ . Os melhores indivíduos gerados na primeira corrida em cada um destes experimentos estão representados nas Figuras 6.12 e 6.13. O resultado obtido, combinado com a análise de confiabilidade da Seção 6.8.4, mostra que o AG depende da técnica de Estado Estacionário para funcionar a contento e convergir rapidamente.

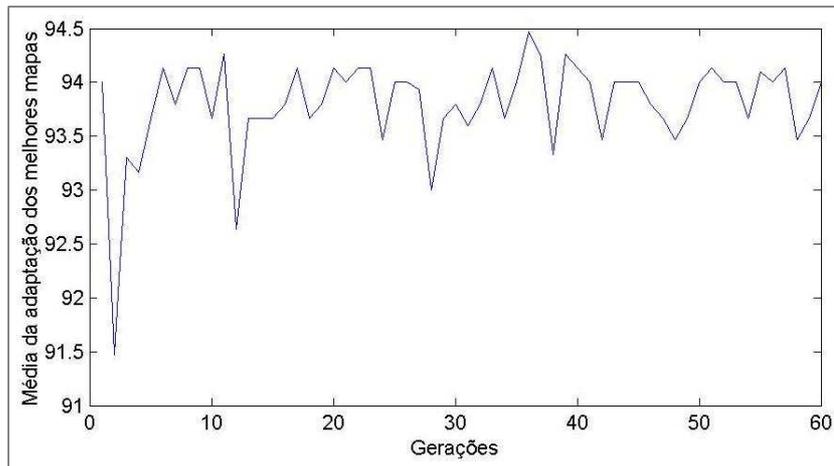


Figura 6.10 – Desempenho do GAADT-CM no Experimento 1 da Tabela 6.7

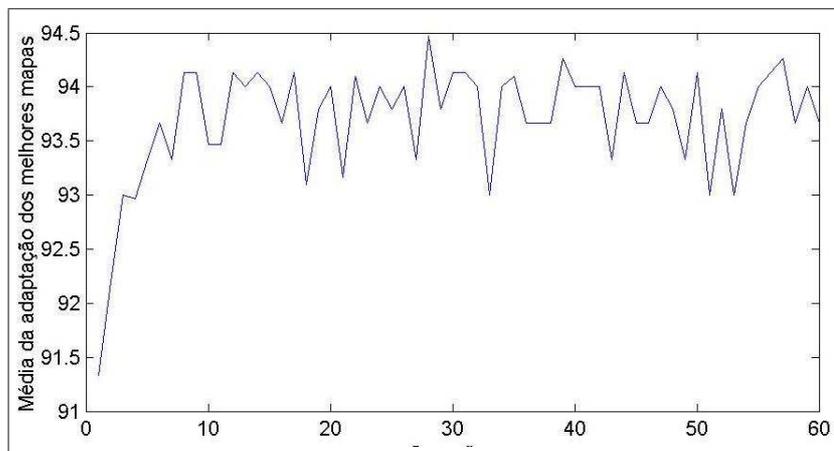


Figura 6.11 – Desempenho do GAADT-CM no Experimento 2 da Tabela 6.7

Os Experimentos 3 e 4 foram os que melhor favoreceram o desempenho do algoritmo e também apresentaram resultados semelhantes. Por um lado, o valor da média das adaptações dos melhores indivíduos nas trinta (30) corridas foi equivalente (para  $gap = 2$ , média = 99.26 e para  $gap = 3$ , média = 100.23), entretanto as variâncias da distribuição das médias diferem em 100% (para  $gap = 2$ , variância = 17.24 e para  $gap = 3$ , variância = 33.77). O melhor desempenho do algoritmo, nesse caso, é reafirmado para  $gap = 2$  pela exata convergência para  $MC_{est}$  por volta da metade da primeira população da primeira geração, enquanto que, para  $gap = 3$ , o algoritmo convergiu para mapas próximos de  $MC_{est}$  já chegando ao final da primeira população da

primeira geração. As Figuras 6.12, 6.13, 6.14, 6.15 apresentam alguns dos melhores indivíduos obtidos em cada experimento.

Em vista dos dados obtidos e da análise feita, a faixa  $2 \leq gap \leq 3$  determinou o valor deste parâmetro nos experimentos subsequentes.

### 6.8.3.2 Ajuste dos demais parâmetros do GAADT-CM

Os demais parâmetros do algoritmo foram ajustados seguindo raciocínio semelhante ao usado para ajusta o valor do parâmetro *gap*. A Tabela 6.8 apresenta a faixa de valores recomendados. Para ilustrar o funcionamento do algoritmo usando os parâmetros recomendados executou-se um giro com valores nas faixas indicadas. Nesse giro foram gerados mais de uma centena cromossomos com adaptação máxima e a convergência aconteceu logo na 13<sup>a</sup> população. A Figura 6.19 ilustra a rápida convergência do algoritmo e alguns dos melhores indivíduos deste giro estão representados na Figura 6.20.

**Tabela 6.8** – Valores obtidos experimentalmente para os parâmetros do GAADT-CM

Parâmetros				
tam_pop	gap	prob_mutacao	prob_r	geracoes
$120 \leq tam\_pop \leq 240$	$2 \leq gap \leq 3$	$0.25 \leq prob\_mutacao \leq 0.35$	$0.15 \leq prob\_r \leq 0.25$	$60 \leq geracoes \leq 80$

### 6.8.4 Confiabilidade do GAADT-CM

Para analisar a confiabilidade do AG e comparar quais parâmetros resultam em melhores soluções e são mais confiáveis para o problema em questão, o algoritmo foi executado 30 vezes. Os valores dos parâmetros foram escolhidos na faixa dos valores recomendados na Tabela 6.8. Em cada corrida foi armazenada a solução encontrada pelo AG - a adaptação do melhor indivíduo da última geração. De posse das soluções encontradas, foi calculada a média aritmética. Em seguida, a média foi usada para calcular o valor da variância, utilizando a equação (Barbetta et al., 2004):

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i^2) - n\bar{X}^2}{n - 1}$$

Os valores da média e variância foram usados para calcular as probabilidades de ocorrência dos valores de adaptação, supondo que a distribuição de probabilidades é a normal. A Figura 6.21 mostra estas distribuições de probabilidades da média da adaptação das soluções encontradas pelo AG ao rodar 30 corridas com os valores dos parâmetros retirados da Tabela 6.8 e, para fins de comparação, mostra também aquela obtida com os dados do Experimento 3 (ver Seção 6.8.3.1). Neste giro final, a média próxima do valor máximo ( $\bar{X} = 105.66$ ) e a baixa dispersão dos valores de adaptação em torno da média ( $\sigma^2 = 18.50$ ) provam os que os valores definidos para os parâmetros do algoritmo são plenamente adequados.

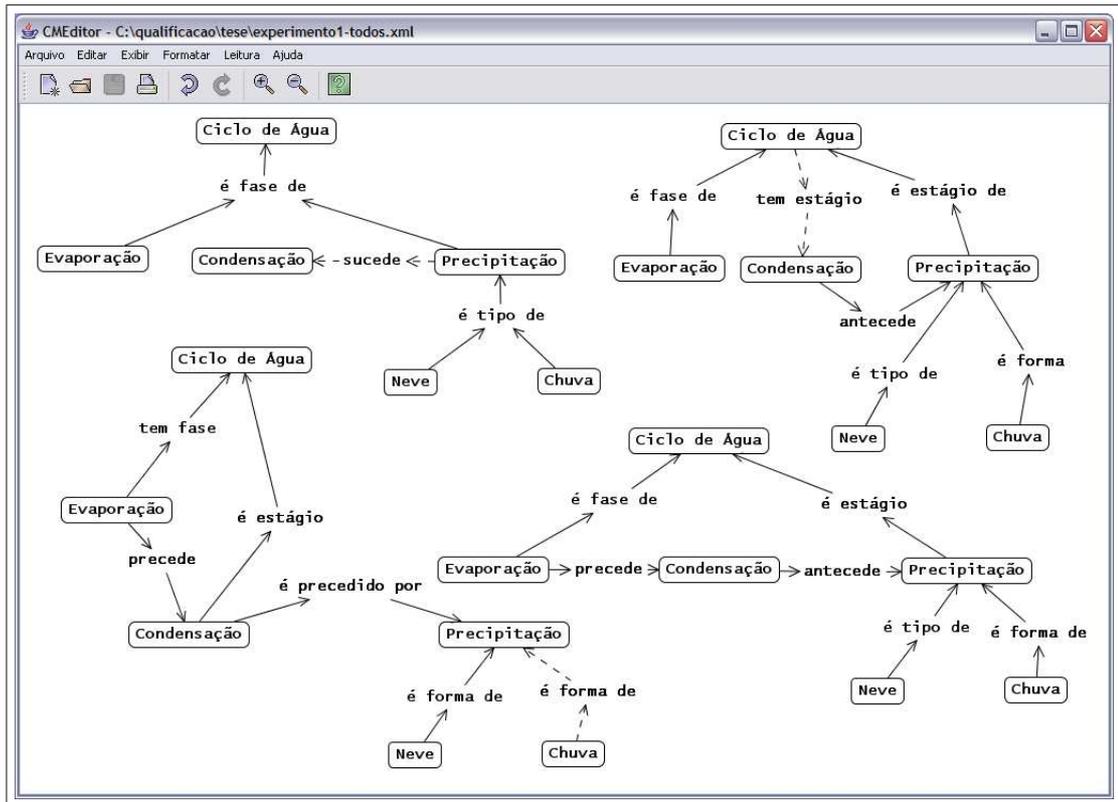


Figura 6.12 – Melhores cromossomos do primeiro experimento

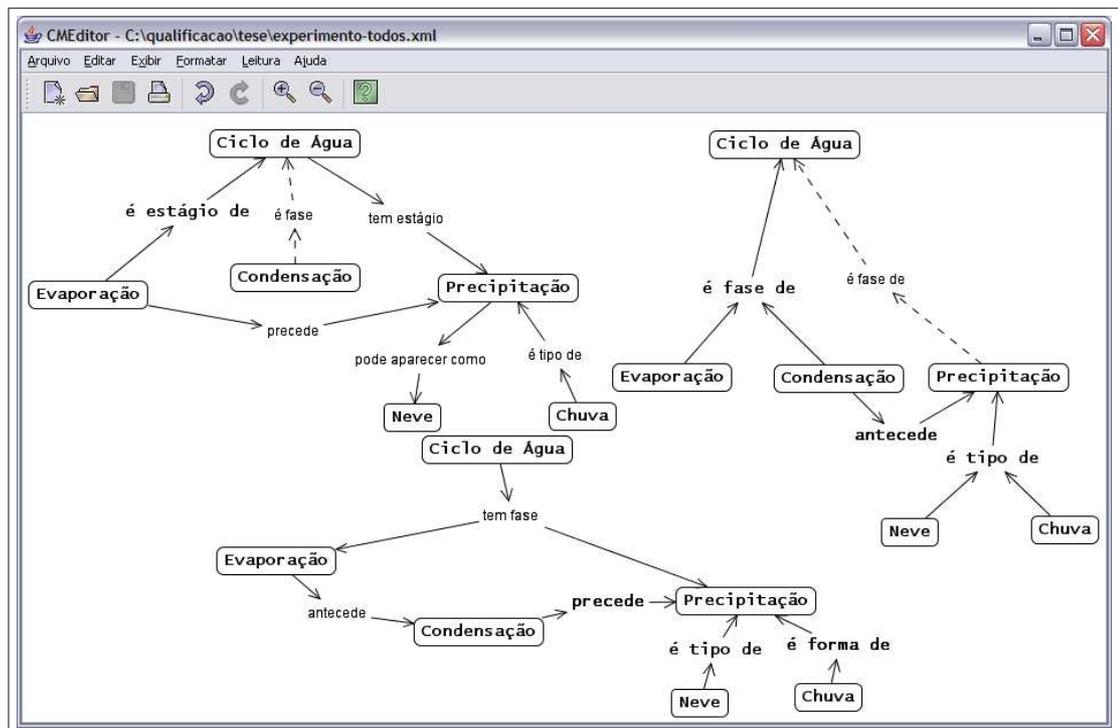


Figura 6.13 – Melhores cromossomos do segundo experimento

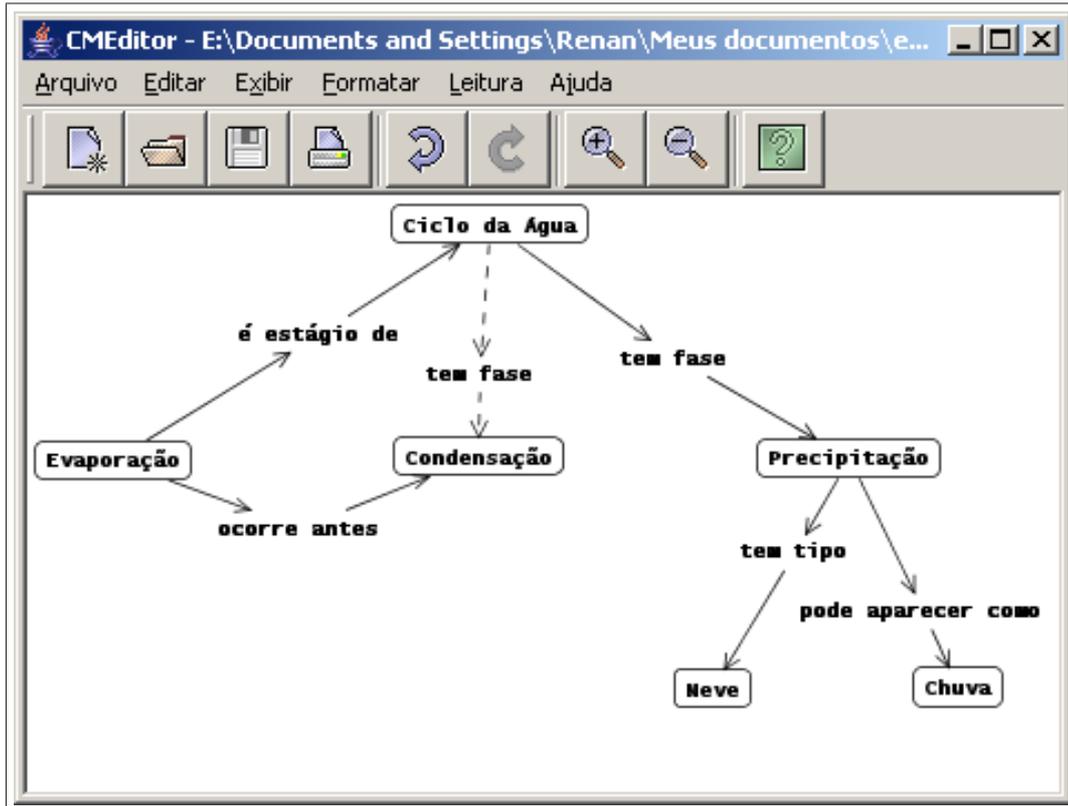


Figura 6.14 – Melhores cromossomos do terceiro experimento

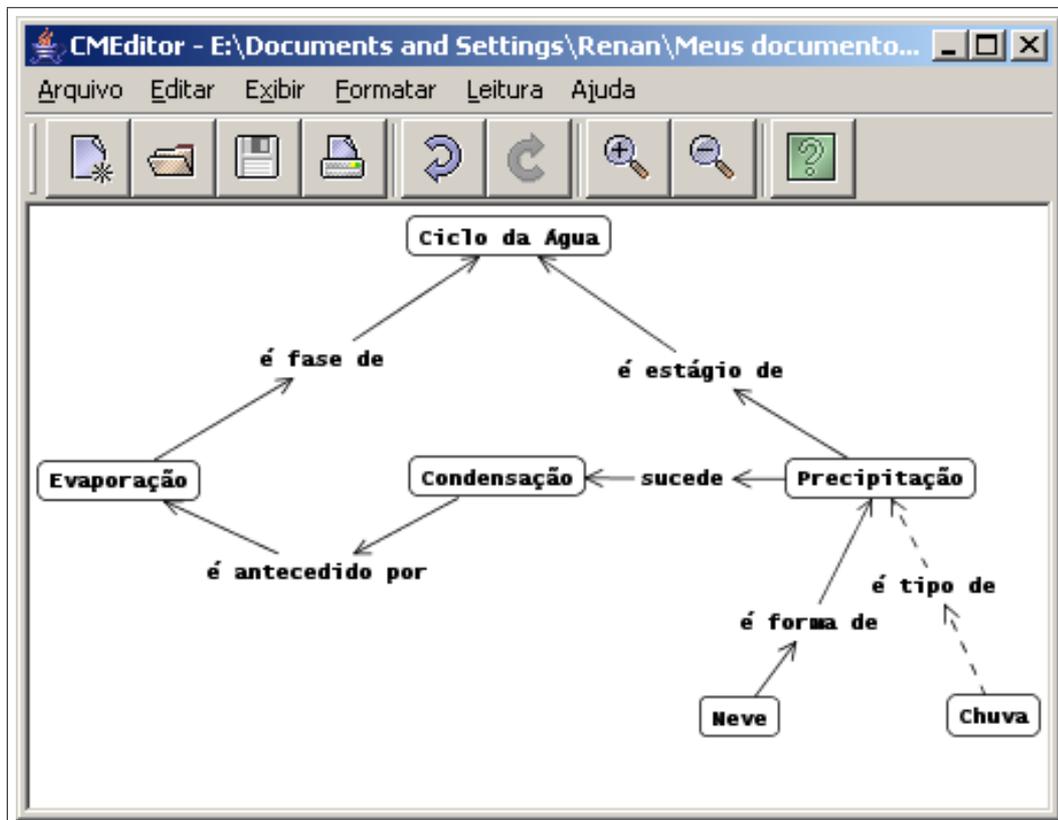


Figura 6.15 – Melhores cromossomos do quarto experimento

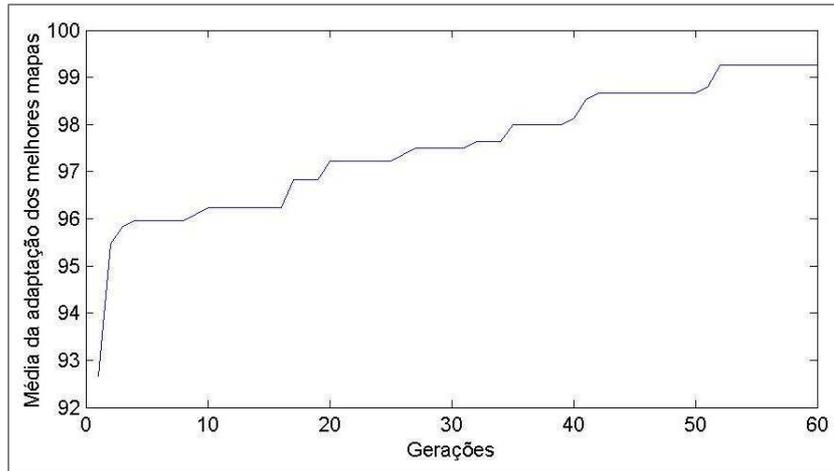


Figura 6.16 – Desempenho do GAADT-CM no Experimento 3 da Tabela 6.7

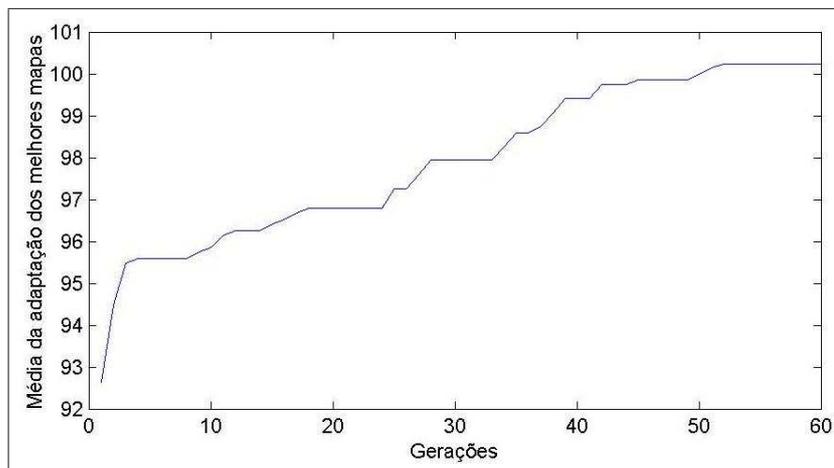


Figura 6.17 – Desempenho do GAADT-CM no Experimento 4 da Tabela 6.7

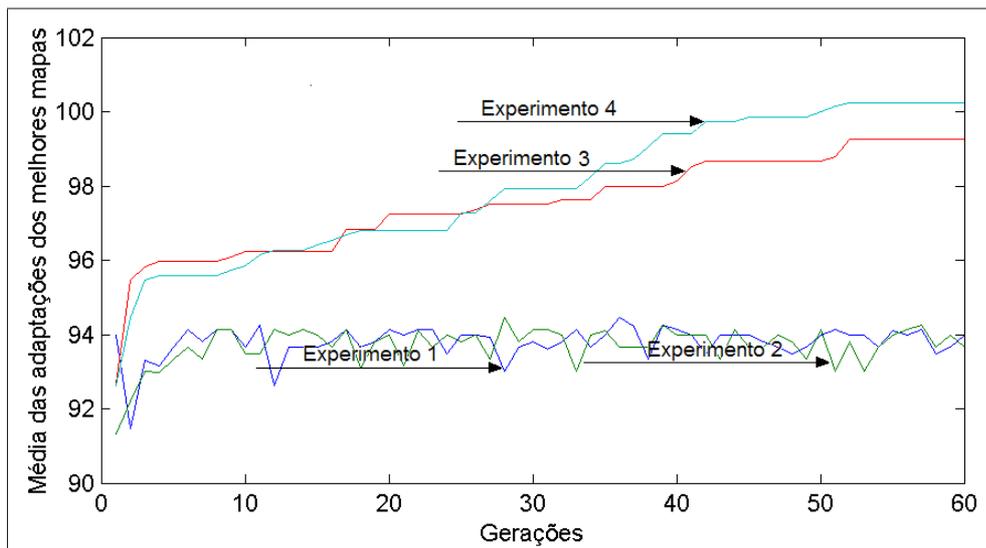


Figura 6.18 – Desempenho comparativo do GAADT-CM nos experimentos da Tabela 6.7

## 6.9 Um modelo de avaliação

Tendo apresentado, no capítulo anterior e no atual, os mecanismos auxiliares da avaliação da aprendizagem, esta seção mostra como o módulo avaliador do ambiente organiza um relatório

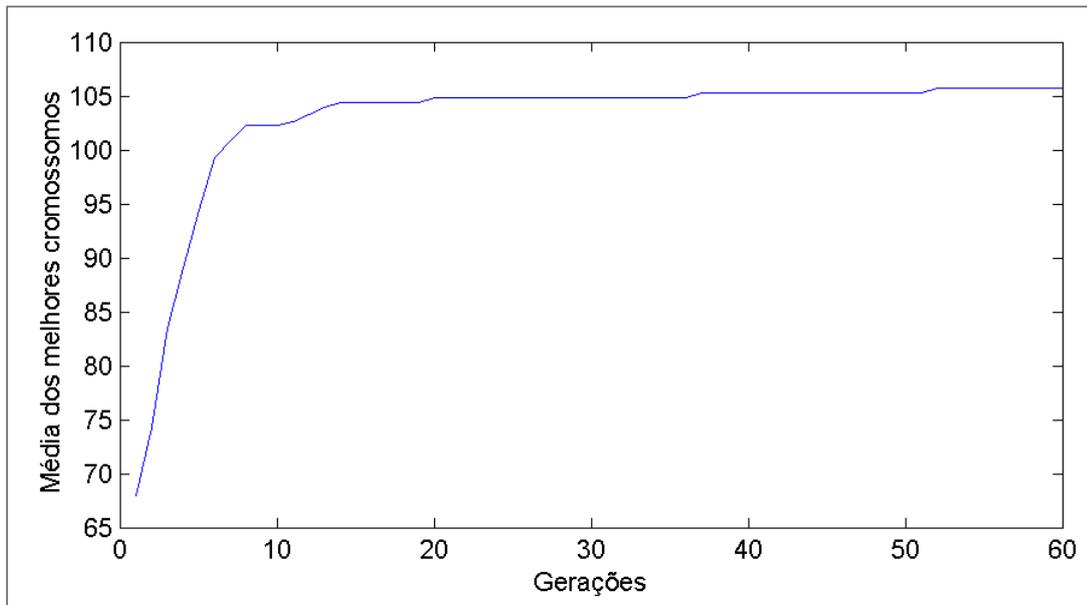


Figura 6.19 – Desempenho do GAADT-CM com todos os parâmetros ajustados

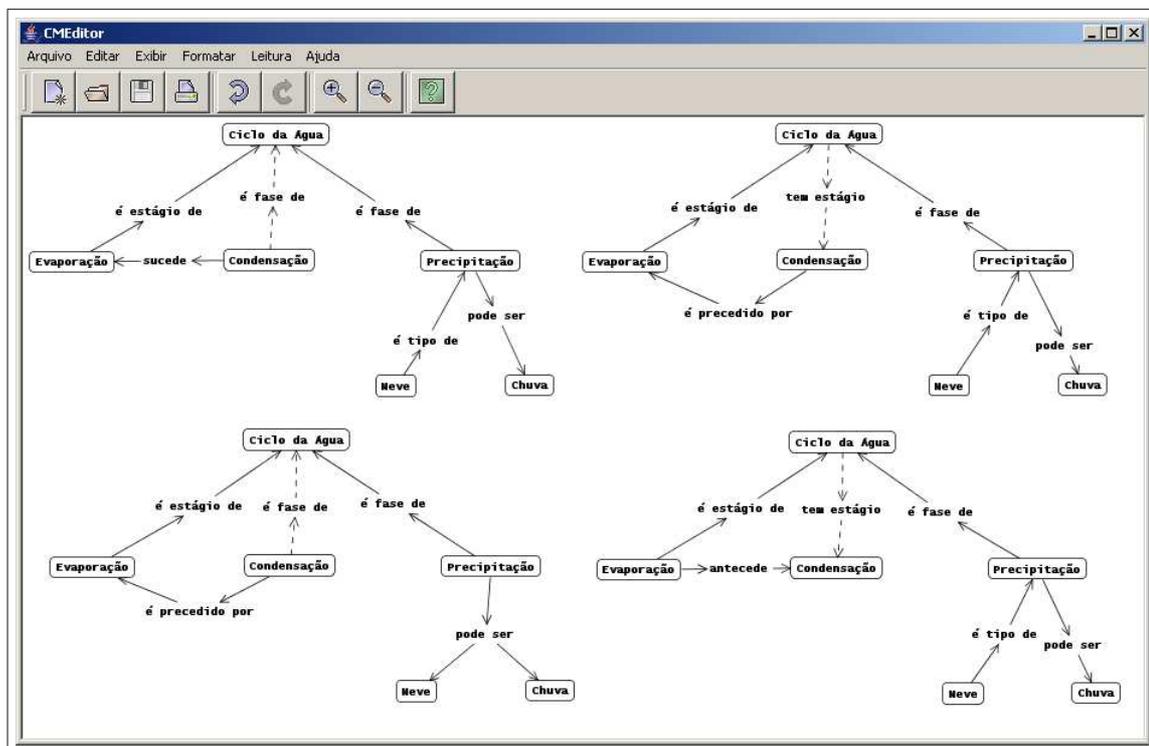
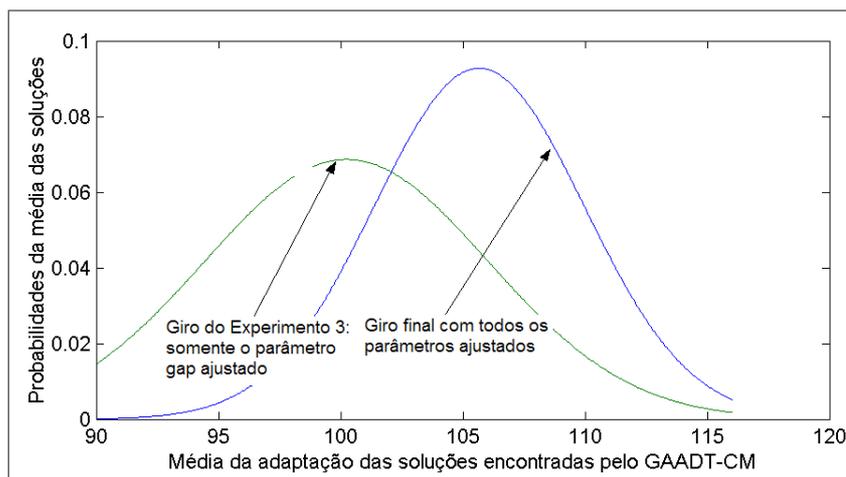


Figura 6.20 – Melhores indivíduos com todos os parâmetros ajustados

de aprendizagem sobre um mapa conceitual submetido por um estudante.

Conforme mostrado na Figura 1.1, o módulo avaliador, é ativado pelo módulo administrador do qual recebe o mapa do estudante a ser avaliado,  $MC_{est}$ . Para realizar sua tarefa, este módulo precisa: (i) ativar o AG para que este produza todos os mapas que possam ser comparados à  $MC_{est}$ ; no caso de já existir no repositório o resultado de uma execução do AG para o mesmo mapa e mesma ontologia, o avaliador usa estes resultados, dispensando nova execução do AG;



**Figura 6.21** – A confiabilidade do *GAADT-CM* com todos os parâmetros ajustados

(ii) ler no repositório a ontologia que ajudou o estudante a construir o seu mapa bem como o conjunto de relações inferidas, construído pela máquina de inferência. A lista a seguir apresenta a forma de organização dos resultados de um relatório de avaliação:

- a. Estrutura hierárquica e tipos de aprendizagem significativa demonstrados: esta parte do relatório informa se os conceitos usados em  $MC_{est}$  dizem respeito à tarefa de aprendizagem solicitada pelo professor, conforme está registrado na ontologia usada, e se as proposições são válidas neste contexto. Usando o resultado produzido pelo AG, o nível de inclusividade de cada conceito em  $MC_{est}$  é verificado, bem como a validade das hierarquias apresentadas e os processos da aprendizagem significativa presentes;
- b. Similaridade semântica entre  $MC_{est}$  e os MCs gerados pelo AG como resultado da busca na ontologia: o objetivo desta seção do relatório é apresentar ao estudante seus eventuais equívocos e alternativas válidas ao mapa que ele apresentou. O módulo avaliador, auxiliado pela ontologia, e pelo conjunto de relações inferidas, calcula a distância semântica entre  $MC_{est}$  e cada uma das soluções apresentadas pelo AG. Se qualquer uma das distâncias for diferente de zero, informações detalhadas contendo as alternativas válidas são apresentadas ao estudante;
- c. Ações que devem ser executadas para reconstruir os MCs gerados pelo AG: objetiva mostrar ao estudante quais são as ações necessárias para construir MCs alternativos ao seu;
- d. Omissões em  $MC_{est}$ : apresenta os conceitos presentes na ontologia e não mapeados pelo estudante.

## 6.9.1 Um exemplo de avaliação

A Tabela 6.9 apresenta os resultados de uma avaliação, considerando que: (i)  $MC_{est}$  é aquele representado na Figura D.18, e (ii) a ontologia é a representada na Figura 1.3.

**Tabela 6.9** – Resultados da avaliação de um MC

Resultados da Avaliação
<p>(a) <b>Estrutura Hierárquica e tipos de aprendizagem</b></p> <p>01. <b>MC avaliado: <math>MC_{est}</math> =</b>  {&lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto.tem estágio,Evaporação&gt;,  &lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto.tem estágio,Condensação&gt;,  &lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto.tem estágio, Precipitação&gt;,  &lt;Evaporação,assimetria.temporalidade.ordenação.sentido_direto.precede,Condensação&gt;,  &lt;Precipitação, assimetria.classificação.sentido_direto.pode ser,Neve&gt;,  &lt;Precipitação, assimetria.classificação.sentido_direto.pode ser,Chuva&gt;}  <b>Conceitos:</b> {Ciclo da Água,Evaporação,Condensação,Precipitação,Neve, Chuva}  <b>Proposições:</b>  {&lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto.tem estágio,Evaporação&gt;(p<sub>1</sub>),  &lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto.tem estágio,Condensação&gt;(p<sub>2</sub>),  &lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto.tem estágio, Precipitação&gt;(p<sub>3</sub>),  &lt;Evaporação,assimetria.temporalidade.ordenação.sentido_direto.precede,Condensação&gt;(p<sub>4</sub>),  &lt;Precipitação, assimetria.classificação.sentido_direto.pode ser,Neve&gt;(p<sub>5</sub>),  &lt;Precipitação, assimetria.classificação.sentido_direto.pode ser,Chuva&gt;(p<sub>6</sub>)}</p> <p>02. <b>Níveis hierárquicos</b>  <b>Nível 0:</b> Ciclo da Água  <b>Nível 1:</b> Evaporação, Condensação, Precipitação  <b>Nível 2:</b> Neve, Chuva</p> <p>03. <b>Hierarquias válidas(5):</b>  {&lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto,Evaporação&gt;,  &lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto,Condensação&gt;,  &lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto, Precipitação&gt;,  &lt;Precipitação, assimetria.classificação.sentido_direto,Neve&gt;,  &lt;Precipitação, assimetria.classificação.sentido_direto,Chuva&gt;}</p> <p>04. <b>Hierarquias inválidas(0):</b> {}</p> <p>05. <b>Proposições válidas(6):</b>  {&lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto.tem estágio,Evaporação&gt;,  &lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto.tem estágio,Condensação&gt;,  &lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto.tem estágio, Precipitação&gt;,  &lt;Evaporação,assimetria.temporalidade.ordenação.sentido_direto.precede,Condensação&gt;,  &lt;Precipitação, assimetria.classificação.sentido_direto.pode ser,Neve&gt;,  &lt;Precipitação, assimetria.classificação.sentido_direto.pode ser,Chuva&gt;}</p> <p>06. <b>Proposições inválidas(0):</b> {}</p> <p>07. <b>Reconciliações integrativas válidas(1):</b>  {&lt;Evaporação,assimetria.temporalidade. ordenação.sentido_direto.precede,Condensação&gt;}</p> <p>08. <b>Reconciliações integrativas inválidas(0):</b> {}</p> <p>09. <b>Diferenciações progressivas válidas(5):</b>  {&lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto.tem estágio,Evaporação&gt;,  &lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto.tem estágio,Condensação&gt;,  &lt;Ciclo da Água,assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto.tem estágio, Precipitação&gt;}</p>

Resultados da Avaliação
<p>&lt;Precipitação, assimetria.classificação.sentido_direto.pode ser,Neve&gt;,            &lt;Precipitação, assimetria.classificação.sentido_direto.pode ser,Chuva&gt;}</p> <p>10. <b>Diferenciações progressivas inválidas(0):</b> {}</p> <p>(b) <b>Similaridade Semântica</b></p> <p>01. <b>Mapas semelhantes encontrados pelo AG(4):</b></p> <p><b>Conceitos:</b> {Ciclo da Água, Evaporação, Condensação, Precipitação, Chuva, Neve}</p> <p><b>Ontologia:</b> EN250-01</p> <p>MC<sub>1</sub>:</p> <p>{&lt;Evaporação,assimetria.partição.temporalidade.sentido_inverso.é estágio de,Ciclo da Água&gt;(p<sub>7</sub>),            &lt;Condensação,assimetria.partição.temporalidade.sentido_inverso.é fase de,Ciclo da Água&gt;(p<sub>8</sub>),            &lt;Precipitação,assimetria.partição.temporalidade.sentido_inverso.é fase de,Ciclo da Água&gt;(p<sub>9</sub>),            &lt;Condensação,assimetria.temporalidade.ordenação.sentido_inverso.sucede,Evaporação&gt;(p<sub>10</sub>),            &lt;Neve,assimetria.classificação.sentido_inverso.é tipo de,Precipitação&gt;(p<sub>11</sub>),            &lt;Precipitação, assimetria.classificação.sentido_direto.pode ser,Chuva&gt;(p<sub>12</sub>)}</p> <p>MC<sub>2</sub>: ...</p> <p>MC<sub>3</sub>: ...</p> <p>MC<sub>4</sub>: ...</p> <p>02. <b>Cálculo das distâncias semânticas:</b></p> <p><b>MC<sub>est</sub> versus MC<sub>1</sub>:</b>  <math>d_m(MC_{est}, MC_1) = 0</math> (MC<sub>est</sub> e MC<sub>1</sub> têm o mesmo significado)</p> <p><b>MC<sub>est</sub> versus MC<sub>2</sub>:</b>  <math>d_m(MC_{est}, MC_2) = \dots</math></p> <p>...</p> <p>(c) <b>Ações para reconstrução dos MC gerados pelo AG</b></p> <p><b>MC<sub>1</sub>:</b></p> <p>formar as proposições: {p<sub>8</sub>,p<sub>10</sub>}</p> <p>combinar: {p<sub>8</sub>,p<sub>10</sub>} {diferenciar progressivamente o conceito Condensação}</p> <p>...</p> <p>...</p> <p>(d) <b>Conceitos da ontologia ausentes de MC<sub>est</sub></b>            {Granizo, Nuvem, Vapor d'Água, ...}</p>

## 6.10 Considerações finais do capítulo

Implementar o *GAADT-CM* foi certamente um desafio. Partiu-se de um conjunto de ferramentas teóricas (teorias, axiomas, ...) bastante consistente, porém que não estava diretamente mapeado para algoritmos que pudessem ser codificados em uma linguagem de programação. A criação destes algoritmos foi, sem dúvida, o ponto mais desafiante desta implementação.

O protótipo do *GAADT-CM* que foi desenvolvido é confiável e suficientemente robusto para ser inserido no ambiente *CMTool*, como ficou demonstrado pelos resultados obtidos. O sucesso no desenvolvimento do protótipo demonstrou também que a idéia motivadora do desenvolvimento de um mecanismo dessa natureza é viável: é possível avaliar a aprendizagem significativa com o auxílio de um algoritmo genético, quando esta aprendizagem é mediada por mapas conceituais. Este é um resultado importante, na medida em que pode contribuir para liberar o professor da grande carga de trabalho que representa a correção de provas e trabalhos.

O prototipo funciona bem, mas pode ser melhorado. Há uma quantidade razoável de experimentos que podem ser realizados visando melhorar seu desempenho, como, por exemplo, testar

o impacto de gerações com número flutuante de cromossomos, usar probabilidade de cruzamento inferior a 1, acasalar de trios ou quartetos de indivíduos ou usar técnicas de otimização para ajuste dos parâmetros.

É importante frisar que o *GAADT-CM* é fundamental para para a consecução do principal objetivo deste trabalho: disponibilizar um ambiente computacional que permita que professores e estudantes utilizem técnicas construtivistas em sala de aula, quebrando a tradição comportamentalista que ainda é regra nas escolas do país.

Embora os resultados conseguidos sejam promissores, há ainda algumas vertentes de pesquisa que precisam ser investigadas no âmbito do *CMTool*. Algumas dessas, estão elencadas como pesquisas futuras ao final da tese.

# Capítulo 7

## Considerações finais

Como foi mostrado nesta tese, encontrar maneiras viáveis de utilizar em sala de aula o modelo construtivista, incluindo um modelo de avaliação adequado, é ainda um desafio a ser superado. *CMTool* contribui para esta superação das seguintes maneiras:

- viabiliza a aplicação em sala de aula de um modelo construtivista baseado na aprendizagem significativa, com um mínimo de sobrecarga para professores e estudantes;
- viabiliza um modelo de *aprender a aprender* (Novak & Gowin, 1984), calcado na linguagem visual dos editores do ambiente;
- viabiliza um modelo de avaliação formativa da aprendizagem (Zabala, 1998) que respeita o modo individual de aprender de cada estudante, sem qualquer carga adicional para o professor;
- viabiliza a avaliação continuada, em qualquer estágio de andamento do curso, relativa a um grupo de conceitos e absoluta por meio da geração de um mapa ótimo;
- permite a identificação do perfil cognitivo de um estudante, viabilizando um acompanhamento individualizado do seu percurso acadêmico na instituição.

A construção de um ambiente de avaliação automática de mapas conceituais utilizando ontologias de domínio e algoritmos genéticos permite ganhos de qualidade tanto na área do ensino, pelo apoio às práticas construtivistas, quanto na área da aprendizagem, pelo apoio ao aprender a aprender.

Transformar o problema da avaliação num processo de busca inteligente numa ontologia de domínio possibilita o resgate da questão em aberto na área da Educação: **Como avaliar automaticamente e qualitativamente a aprendizagem respeitando os processos cognitivos idiossincráticos de cada estudante?**

Adicionalmente, a construção de um ambiente com as características do *CMTool* viabiliza também a avaliação qualitativa da aprendizagem de grupos de estudante de qualquer tamanho, com um mínimo de esforço. Estes resultados fazem avançar significativamente o que já foi obtido até então no grupo de pesquisa AmAm (Harb et al., 2003), em cujo contexto esta tese se situa.

A ideia subjacente ao ensino e à avaliação da aprendizagem por meio de mapas conceituais é facilitar ao estudante o domínio da estrutura conceitual que envolve todo o tipo de conhecimento. A flexibilidade do ambiente desenvolvido permite avaliar qualitativamente a aquisição deste conhecimento por meio de questões abertas e questões fechadas, de acordo com a taxonomia de Bloom. Um exemplo de questão fechada seria apresentar um mapa ao estudante e perguntar se o mesmo é **verdadeiro** ou **falso**. Este tipo de teste avalia a capacidade do estudante de *lembrar* a resposta ou de demonstrar que *entendeu* o significado das proposições constantes do mapa. Um forma de questão aberta seria um exercício do tipo *fill in the map* - o estudante recebe um mapa parcialmente construído e preenche as lacunas. Este tipo de exercício envolve a avaliação dos processos cognitivos *lembrar*, *entender* e *aplicar*.

Em relação à arquitetura do ambiente, a adoção de modelos de dados para a taxonomia de frases de ligação e para a ontologia baseados em XML segue a tendência dominante para a transferência de informações na Web com significado atrelado. Esta base permite imaginar o modelo adotado funcionando no contexto da *web semântica*, ampliando as possibilidades de incorporar este conceito à área da educação escolar.

O uso de ontologias para codificar o conhecimento estrutural associado a um sistema de classificação de dimensões semânticas permite ao professor aliviar a sua carga de trabalho, podendo transferir para o sistema automático parte considerável do processo de identificação do que foi aprendido pelo estudante e de suas deficiências, e quais alternativas existem para o seu aprendizado. Este é um ganho importante de eficiência no trabalho de sala de aula proporcionado por uma mudança de paradigma apoiado por um sistema automático inteligente.

Com o uso de ontologias para ensinar e avaliar a aprendizagem por meio de mapas conceituais o processo de avaliação se transforma num processo de otimização combinatória. Para realizar este processo é preciso um mecanismo que saiba combinar, com grande aleatoriedade, as estruturas de conhecimento que estão decompostas na ontologia. Esta necessidade levou ao projeto de um algoritmo genético adaptado à resolução do problema em tela.

A função de adaptação do AG calcula o valor cognitivo de cada mapa que ele gera levando em conta o conhecimento que o professor colocou na ontologia e aquele que o estudante apresentou no seu mapa conceitual. O resultado pode ser um mapa medíocre, um mapa bom, um mapa muito bom ou um mapa ótimo, relativamente ao mapa apresentado pelo estudante. Uma análise de similaridade entre o que foi feito pelo AG e o que foi apresentado pelo estudante

permite avaliar a aprendizagem.

Além das contribuições científicas (Seção 7.1), este trabalho favoreceu a combinação e a exploração de tecnologias que, em geral, aparecem utilizadas separadamente na pesquisa científica: a combinação de ontologias e algoritmos genéticos é uma importante contribuição desta tese que pode ser aplicada em qualquer contexto em que seja preciso resolver problemas de otimização combinatória, se o conhecimento envolvido puder ser codificado numa ontologia.

Para o desenvolvimento do ambiente, optou-se por utilizar a linguagem de programação Java, os dados descritos em XML e apenas uma pequena parte - a correspondente ao motor de inferência - foi codificada em Prolog. A escolha foi motivada pela experiência no desenvolvimento de sistemas com essas ferramentas e, principalmente, porque elas são classificadas como softwares livres o que não trouxe custo de aquisição, e não trará custos adicionais para a utilização do ambiente por qualquer instituição.

Os objetivos estabelecidos foram efetivamente alcançados. Entretanto, para que a avaliação qualitativa da aprendizagem aconteça na forma prevista neste trabalho é necessário que professores e estudantes desempenhem seus papéis de forma satisfatória. Aos professores cabe a tarefa de desenvolver ontologias para organizar o ensino em torno de estruturas que sejam apropriadas à construção do conhecimento nos domínios da(s) sua(s) área(s) de atuação e, eventualmente, a ampliação e/ou modificação das regras de proximidade semântica inscritas na taxonomia de frases de ligação; aos estudantes cabe o processo de mapeamento conceitual do conhecimento contido nas ontologias, podendo para isso explorar as facilidades adicionais oferecidas pelo ambiente para atingir seus objetivos.

## 7.1 Contribuições Científicas

Foram as seguintes as contribuições científicas geradas por esta pesquisa:

### Revistas - Qualis A

1. Rocha, F. E. L., Costa Jr, J. V., Favero, E. L. *Como Usar Ontologias na Avaliação da Aprendizagem Significativa Mediada por Mapas Conceituais*. Revista Brasileira de Informática na Educação, ISSN 1414-5685 **V.13(2)**, pp. 53-64, 2005

### Revistas - Qualis B

1. Rocha, F. E. L., Costa Jr, J. V., Favero, E. L. *CMTool: Facilitating Meaningful Learning Practice in the Classroom*. INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO: TEORIA E PRÁTICA, ISSN 1516-084X **V.8(1)**, pp. 55-70, 2005

## Congressos Internacionais

1. Rocha, F. E. L., Costa Jr, J. V. & Favero, E. L. *A New Approach to Meaningful Learning Assessment Using Concept Maps: Ontologies and Genetic Algorithms*. Proceedings... 1<sup>st</sup> International Conference on Concept Mapping, ISBN 84-9769-066-4, **V.1**, pp. 175-182, Pamplona, 2004.
2. Costa Jr, J. V., Rocha, F. E. L., & Favero, E. L. *Linking Phrases in Concept Maps: A Study on the Nature of Inclusivity*. Proceedings ... 1<sup>st</sup> International Conference on Concept Mapping, ISBN 84-9769-066-4, **V.1**, pp. 167-174, Pamplona, 2004.

## Congressos Nacionais

1. Rocha, F. E. L., Vieira, R. V., Costa Jr, J. V. & Favero, E. L. *Especificação de um Algoritmo Genético para Auxiliar na Avaliação da Aprendizagem Significativa com Mapas Conceituais*. Anais ... XV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, ISBN 85-7401-161-4, pp. 139-148, Manaus, 2004.
2. Rocha, F. E. L. & Favero, E. L. *CMTool: A Supporting Tool for Conceptual Map Analysis*. Proceedings ... World Congress on Engineering and Technology Education, WCETE, ISBN 85-89120-12-0, pp. 507-511, Santos, 2004.
3. Silva, T. R. A., Costa Júnior, J. V., Rocha, F. E. L. *Alguns Requisitos de Interação Humano-Computador para um Editor de Mapas Conceituais*. Anais ... XIX Semana Paraense de Informática, ISBN 85-89982-04-1, pp. 23-34, Belém, 2005.

## 7.2 Trabalhos futuros

A versão inicial do *CMTool* implementa uma arquitetura que atende a todos os objetivos previstos neste trabalho. Essa arquitetura pode evoluir em funções de novas funcionalidades ou melhorias nas funcionalidades existentes. Algumas das possibilidades vislumbradas são:

### 1. Em relação ao ambiente:

- a. Disponibilização do *CMTool* na Internet. Para evitar a complexidade que decorreria do desenvolvimento simultâneo da parte pedagógica do ambiente junto com a infra-estrutura necessária para disponibilizar seus conceitos a domínios maiores, optou-se por desenvolver o sistema no modo monousuário. Estando operacional a parte pedagógica, é possível imaginar o funcionamento do ambiente em rede, implementando uma versão distribuída baseada na componentização de suas partes ou

na forma de um *web service*. Neste caso, o conceito de *web semântica* poderá ser incorporado ao ambiente sendo necessário para isto que: (i) a representação textual das ontologias seja feita num linguagem recomendada pelo consórcio W3C; e (ii) o AG se transforme numa máquina de busca capaz de operar nessa modalidade da *world wide web*;

- b. Para ajudar o ensino/aprendizagem de conhecimento procedural, em paralelo com conhecimento conceitual, considera-se a adição de bases de conhecimento (KBs) ao repositório do CMTool. Estas KBs poderiam armazenar artefatos tais como ilustrações, esqueletos de código de programas de computador, jogos, informações sobre melhores práticas de ensino de disciplinas específicas, simulações, entre outras. Cada um destes artefatos seria indexado por um ontologia. O objetivo seria alavancar a prática de atividades colaborativas e discussões de grupos sobre tópicos específicos de diferentes disciplinas, guiado por um vocabulário comum. KBs conectadas a ontologias seriam também susceptíveis a buscas especializadas;
- c. O ambiente pode também se beneficiar da presença de algoritmos para extrair radicais de palavras (*stemming algorithms*). Isto evitaria problemas acidentais, que podem aparecer durante a pesquisa dos MCs mais adaptados, causados pela flexão do plural ou conjugações de verbos;

## 2. Em relação à ontologia, à gramática de inclusividade e ao GAADT-CM:

- a. Implementação de uma função adicional para criar seqüenciamentos automáticos de material de cursos. O objetivo principal é delinear o conteúdo de cursos a distância;
- b. Implementação de uma função capaz de gerar automaticamente perguntas/respostas baseadas nas relações semânticas entre conceitos. O objetivo principal é enriquecer as formas de avaliar disponíveis no ambiente;
- c. Implementação de uma função capaz de pesquisar automaticamente caminhos de aprendizagem. O objetivo é facilitar ao usuário a delimitação de temas de estudo;
- d. Ampliar a capacidade de inferência, incluindo regras para inferir conhecimento descrito pela combinação de relações semânticas não triviais como *local*, *processo*, *temporal*, entre outras;
- e. Definir um mecanismo de auxílio ao professor para a escolha de frases sinônimas quando da definição de ontologias. Este mecanismo pode ser: (i) um analisador sintático-semântico, ou (ii) a interligação com dicionários léxicos disponíveis baseado em sinonímia. O objetivo é melhorar a precisão do mecanismo de inferência do ambiente;

- f. Refinar o cálculo do valor de adaptação dos mapas gerados automaticamente considerando: (i) um sistema de classificação das inferências que permita ponderar com valores mais altos aquelas consideradas mais difíceis de descobrir; (ii) os processos cognitivos simulados pelo AG ao construir os mapas.

Essas melhorias irão contribuir para tornar o ambiente mais atrativo para estudantes e professores em todos os níveis de ensino.

# Apêndice A

## A taxonomia de frases do *CMTool*

Considerando a possibilidade de interoperar com outros sistemas semelhantes e a futura operação na Web, a taxonomia de frases de ligação do *CMTool* foi projetada como um repositório de dados descritos em XML, obedecendo aos formatos de metadados armazenados num DTD. A seguir apresenta-se a descrição dos tipos de dados, o DTD, e em seguida, os dados propriamente ditos.

### Descrição dos dados:

```
<?xml version="1.0"?>
<!ELEMENT frase (#PCDATA)>
<!ELEMENT desc (#PCDATA)>
<!ELEMENT supertipo (desc?, (frase+ | supertipo+ ) )> <!ATTLIST supertipo valor CDATA #IMPLIED >
<!ELEMENT taxonomia (supertipo)+> <!ATTLIST taxonomia versao CDATA #IMPLIED>
```

### Dados da taxonomia:

```
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>
<!DOCTYPE taxonomia SYSTEM "Taxonomia.dtd"> <taxonomia versao="1.0">
<supertipo valor="assimetria">
<desc>A dimensão de assimetria representa a relação semântica entre dois conceitos na qual a mudança da ordem de leitura dos conceitos resulta em alteração substancial no sentido da proposição. Por exemplo, dada a proposição "CASA possui JANELA", se alterarmos a posição dos conceitos, a proposição resultante "JANELA possui CASA" não mantém o sentido inicial. A dimensão de simetria, por outro lado, representa a relação semântica entre conceitos na qual o significado da proposição é mantido caso haja mudança na posição dos conceitos.</desc>
<supertipo valor="processo">
<desc>Esta dimensão representa a ligação semântica existente entre conceitos envolvidos em um processo. Um processo utiliza entradas e gera saídas através de alguma transformação. Por exemplo, na proposição "VAPOR é transformado em CHUVA", o conceito VAPOR é a entrada do processo e o conceito CHUVA é a saída do processo. A transformação (no caso, o fenômeno da condensação) não é mencionada no exemplo dado. A dimensão de processo possui subdimensões que representam as possíveis ligações entre conceitos.</desc>
```

```
<supertipo valor="assimetria">
```

```
<desc>A dimensão de assimetria representa a relação semântica entre dois conceitos na qual a mudança da ordem de leitura dos con
```

<supertipo valor="entrada">

<desc>A dimensão "entrada" representa a ligação semântica que existe entre conceitos na qual um conceito é entrada de um processo. Assim, por exemplo, na proposição "CONDENSAÇÃO utiliza VAPOR", o conceito CONDENSAÇÃO representa o processo em si, enquanto o conceito VAPOR representa a entrada para o processo.</desc>

<supertipo valor="sentido\_direto">

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>usa</frase>

<frase>usa como entrada</frase>

<frase>utiliza</frase>

<frase>utiliza como entrada</frase>

<frase>transforma</frase>

<frase>converte</frase>

<frase>altera</frase>

<frase>modifica</frase>

<frase>faz uso de</frase>

</supertipo>

<supertipo valor="sentido\_inverso">

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>é entrada de</frase>

<frase>é usado por</frase>

<frase>é utilizado por</frase>

<frase>é transformado por</frase>

<frase>é convertido por</frase>

<frase>é alterado por</frase>

<frase>é modificado por</frase>

<frase>é mutado por</frase>

</supertipo>

</supertipo>

<supertipo valor="saída">

<desc>A dimensão "saída" representa a ligação existente entre conceitos na qual um dos conceitos representa a saída, ou seja, o produto de um processo. Por exemplo, dada a proposição "CONDENSAÇÃO gera CHUVA", o conceito CONDENSAÇÃO representa o processo em si, enquanto o conceito CHUVA representa a saída do processo.</desc>

<supertipo valor="sentido\_direto">

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>gera</frase>

<frase>causa</frase>

<frase>produz</frase>

<frase>provoca</frase>

<frase>resulta em</frase>

<frase>tem como resultado</frase>

<frase>forma</frase>

<frase>tem como consequência</frase>

<frase>tem como saída</frase>

</supertipo>

<supertipo valor="sentido\_inverso">

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>é gerado por</frase>  
 <frase>é causado por</frase>  
 <frase>é produzido por</frase>  
 <frase>é provocado por</frase>  
 <frase>é resultado de</frase>  
 <frase>é formado por</frase>  
 <frase>é consequência de</frase>  
 <frase>é saída de</frase>  
 </supertipo>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="transformação">  
 <desc>Esta dimensão representa a ligação existente entre dois conceitos na qual um conceito é uma entrada de um processo e o outro conceito é uma saída do processo. Neste tipo de proposição, o processo não é explicitamente mencionado. Por exemplo, na proposição "TRIGO é transformado em PÃO", os conceitos TRIGO e PÃO estão ligados por uma frase de ligação da dimensão de transformação. Esta dimensão possui duas subdimensões, dependendo de como o processo é controlado.</desc>  
 <supertipo valor="controle\_interno">  
 <desc>Esta dimensão representa a ligação entre dois conceitos em que um dos conceitos é a entrada e o outro é a saída de um processo. Adicionalmente, esta dimensão representa que o processo é regulado/controlado pelo conceito de entrada, ou seja, não há uma entidade externa que efetive este controle. Por exemplo, na proposição "LAGARTA converte-se em BORBOLETA", os conceitos LAGARTA e BORBOLETA representam, respectivamente, a entrada e a saída do processo. Adicionalmente, este processo é controlado por um dos conceitos (no caso, LAGARTA).</desc>  
 <supertipo valor="sentido\_direto">  
 <desc>Descrição do supertipo</desc>  
 <frase>transforma-se em</frase>  
 <frase>converte-se em</frase>  
 <frase>modifica-se para</frase>  
 <frase>altera-se para</frase>  
 <frase>muta-se em</frase>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="sentido\_inverso">  
 <desc>Descrição do supertipo</desc>  
 <frase>provém de</frase>  
 <frase>surge de</frase>  
 <frase>tem como origem</frase>  
 <frase>resulta de</frase>  
 <frase>é consequência de</frase>  
 <frase>é alteração de</frase>  
 <frase>é transformação de</frase>  
 <frase>é conversão de</frase>  
 <frase>é mutação de</frase>  
 <frase>é modificação de</frase>  
 </supertipo> </supertipo>  
 <supertipo valor="controle\_interno">

— <desc>Esta dimensão representa a ligação entre conceitos que representam a entrada e a saída de um processo. Adicionalmente, este processo é regulado/controlado/disparado por uma entidade externa. Assim, por exemplo, a proposição "TRIGO é transformado em PÃO", os conceitos TRIGO e PÃO são a entrada e a saída do processo de cozimento, que é disparado

por uma entidade externa (o cozinheiro, no caso).</desc> <supertipo valor="sentido\_direto">

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>é transformado em</frase>

<frase>é convertido em</frase>

<frase>é alterado em</frase>

<frase>é mutado em</frase>

<frase>é modificado em</frase>

<frase>resulta em</frase>

<frase>tem como consequência</frase>

</supertipo>

<supertipo valor="sentido\_inverso">

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>provém de</frase>

<frase>surge de</frase>

<frase>tem como origem</frase>

<frase>resulta de</frase>

<frase>é consequência de</frase>

<frase>é alteração de</frase>

<frase>é transformação de</frase>

<frase>é conversão de</frase>

<frase>é mutação de</frase>

<frase>é modificação de</frase>

</supertipo>

</supertipo>

</supertipo>

</supertipo>

<supertipo valor="temporalidade">

<desc>Esta dimensão representa a ligação semântica entre conceitos na qual se deseja expressar o sentido de temporalidade, ou seja, na qual dois conceitos são ordenados/comparados em relação ao tempo. Assim, as proposições "EVAPORAÇÃO precede CONDENSAÇÃO", "UM MÊS é mais longo que UMA SEMANA" e "CURSO dura UM MÊS", são exemplos de uso da dimensão temporal. Observa-se que, nestes casos, a mudança da ordem de leitura dos conceitos altera o sentido da frase. Por esta razão, esta dimensão encontra-se classificada sob a dimensão de assimetria. Por outro lado, há uma outra dimensão de temporalidade, classificada sob a dimensão de simetria, para os casos em que a mudança da ordem dos conceitos não influencia no sentido da proposição.</desc>

<supertipo valor="ordenação">

<desc>A dimensão de ordenação representa a ligação que existe entre conceitos quando tais conceitos são ordenados no tempo, ou seja, quando se deseja expressar que um conceito existiu/ocorreu/persistiu em um momento anterior a outro. Assim, por exemplo, a proposição "OUTUBRO sucede SETEMBRO" usa uma frase de ligação desta dimensão. Nesta proposição, os conceitos encontram-se ordenados no tempo.</desc>

<supertipo valor="sentido\_direto">

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>precede</frase>

<frase>antecede</frase>

<frase>ocorre antes de</frase>

<frase>é anterior a</frase>

<frase>é primeiro que</frase>

<frase>existe antes que</frase>

<frase>é antes de</frase>

<frase>é sucedido por</frase>

</supertipo>

<supertipo valor="sentido\_inverso">

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>é precedido por</frase>

<frase>é antecedido por</frase>

<frase>sucede</frase>

<frase>segue</frase>

<frase>é posterior que</frase>

<frase>ocorre depois de</frase>

<frase>existe depois que</frase>

<frase>é depois de</frase>

</supertipo>

</supertipo>

<supertipo valor="comparação">

<desc>Esta dimensão representa a ligação semântica entre dois conceitos na qual se compara a duração de um conceito em relação à duração do outro. Por exemplo, na proposição "MARÇO é mais longo que FEVEREIRO", os dois conceitos são comparados com relação a suas respectivas durabilidades.</desc>

<supertipo valor="sentido\_direto">

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>é mais longo que</frase>

<frase>é maior que</frase>

<frase>leva mais tempo que</frase>

<frase>é mais duradouro que</frase>

<frase>dura mais tempo que</frase>

</supertipo> <supertipo valor="sentido\_inverso">

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>é mais curto que</frase>

<frase>é menor que</frase>

<frase>leva menos tempo que</frase>

<frase>é menos duradouro que</frase>

<frase>dura menos tempo que</frase>

</supertipo>

</supertipo>

<supertipo valor="duração">

<desc>Esta dimensão possui frases de ligação que conectam um conceito a sua respectiva duração. Assim, por exemplo, na proposição "CURSO dura UM MÊS", a duração do conceito CURSO é de UM MÊS, e isso é indicado pela frase de ligação utilizada. Como se pode observar, esta dimensão é assimétrica, pois a alteração na ordem de leitura dos conceitos altera o sentido da proposição.</desc>

<supertipo valor="sentido\_direto">

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>dura</frase>

<frase>leva</frase>

<frase>existe por</frase>

<frase>ocorre por</frase>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="sentido\_inverso">  
 <desc>Descrição do supertipo</desc>  
 <frase>é o tempo que dura o</frase>  
 <frase>é o tempo que leva o</frase>  
 <frase>é a duração de</frase>  
 <frase>é o intervalo de tempo do</frase>  
 <frase>é o tempo de existência de</frase>  
 </supertipo>  
 </supertipo>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="definição">  
 <desc>A dimensão de definição agrega as relações semânticas entre conceitos nas quais um conceito define outro. Há formas diferentes de se expressar uma definição: um conceito pode ser definido em outro conceito, por outro conceito ou como outro conceito. Estas formas diferentes de definição são detalhadas nas subdimensões desta dimensão.</desc>  
 <supertipo valor="definidor"> <desc>Esta dimensão representa a ligação semântica existente entre dois conceitos na qual um dos conceitos é definido por outro. Assim, por exemplo, na proposição "PRIORIDADE é definida por DIRETORIA", o conceito PRIORIDADE representa aquilo que é definido, enquanto que o conceito DIRETORIA representa o agente da definição, ou seja, a entidade que efetivamente define.</desc>  
 <supertipo valor="sentido\_direto">  
 <desc>Descrição do supertipo</desc>  
 <frase>define</frase>  
 <frase>delimita</frase>  
 <frase>determina</frase>  
 <frase>decide</frase>  
 <frase>demarca</frase>  
 <frase>decreta</frase>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="sentido\_inverso">  
 <desc>Descrição do supertipo</desc>  
 <frase>é definido por</frase>  
 <frase>é delimitado por</frase>  
 <frase>é determinado por</frase>  
 <frase>é decidido por</frase>  
 <frase>é demarcado por</frase>  
 <frase>é decretado por</frase>  
 </supertipo>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="definido">  
 <desc>Esta dimensão semântica agrega a ligação existente entre dois conceitos, na qual um dos conceitos é definido como o outro. Assim, por exemplo, na proposição "SAÚDE é definida como PRIORIDADE", o conceito SAÚDE é aquilo que se deseja definir e o conceito PRIORIDADE é a definição. Observa-se que neste tipo de proposição não se explicita o agente da definição, ou seja, quem efetiva a definição.</desc>  
 <supertipo valor="sentido\_direto">  
 <desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>é definido como</frase>  
 <frase>é delimitado como</frase>  
 <frase>é determinado como</frase>  
 <frase>é decidido como</frase>  
 <frase>é demarcado como</frase>  
 <frase>é decretado como</frase>  
 <frase>é</frase>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="sentido\_inverso">  
 <desc>Descrição do supertipo</desc>  
 <frase>é definição de</frase>  
 </supertipo>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="inclusão">  
 <desc>Esta dimensão agrega frases de ligação que representam a ligação semântica existente entre dois conceitos na qual um conceito é definido dentro de outro. Assim, por exemplo, na proposição "TEOREMA é definido em LIVRO", entende-se que a definição do conceito TEOREMA encontra-se dentro do conceito LIVRO.</desc>  
 <supertipo valor="sentido\_direto">  
 <desc>Descrição do supertipo</desc>  
 <frase>é definido em</frase>  
 <frase>é delimitado em</frase>  
 <frase>é determinado em</frase>  
 <frase>é decidido em</frase>  
 <frase>é demarcado em</frase>  
 <frase>é decretado em</frase>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="sentido\_inverso">  
 <desc>Descrição do supertipo</desc>  
 <frase>possui definição de</frase>  
 <frase>possui delimitação de</frase>  
 <frase>possui determinação de</frase>  
 <frase>possui decisão de</frase>  
 <frase>possui demarcação de</frase>  
 <frase>tem definição de</frase>  
 <frase>tem delimitação de</frase>  
 <frase>tem determinação de</frase>  
 <frase>tem decisão de</frase>  
 <frase>tem demarcação de</frase>  
 </supertipo>  
 </supertipo>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="classificação">  
 <desc>A dimensão de classificação representa o relacionamento entre dois conceitos no qual um conceito é supertipo, classe, categoria de outro, ou seja, um conceito é uma generalização de outro. Isso não é o mesmo que a idéia de exemplificação, pois em um exemplo não é uma subclasse, e sim uma instância da classe ligada a ele. Assim, por exemplo, na proposição "GATO é um tipo de FELINO", o conceito GATO é uma especialização do conceito FELINO.</desc>

<supertipo valor="sentido\_direto">  
<desc>Descrição do supertipo</desc>  
<frase>pode aparecer como</frase>  
<frase>tem tipo</frase>  
<frase>pode ser</frase>  
<frase>tem subtipo</frase>  
<frase>tem classe</frase>  
<frase>tem subclasse</frase>  
<frase>é supertipo de</frase>  
<frase>é superclasse de</frase>  
</supertipo>

<supertipo valor="sentido\_inverso">  
<desc>Descrição do supertipo</desc>  
<frase>é forma de</frase>  
<frase>é tipo de</frase>  
<frase>é subtipo de</frase>  
<frase>é subclasse de</frase>  
<frase>é classe de</frase>  
<frase>é forma de</frase>  
<frase>é classificado como</frase>  
<frase>tem supertipo</frase>  
<frase>tem superclasse</frase>  
</supertipo>  
</supertipo>

<supertipo valor="caracterização">  
<desc>Esta dimensão representa a ligação semântica existente quando um conceito é uma característica, atributo ou propriedade de outro. Assim, por exemplo, a proposição "LATIDO é atributo de CACHORRO" representa que o conceito CACHORRO possui uma característica LATIDO. Em alguns casos, esta dimensão representa a idéia de partição. Assim, dependendo da situação, deve-se considerar também o uso de partição para representar o relacionamento entre os conceitos. </desc>

<supertipo valor="sentido\_direto">  
<desc>Descrição do supertipo</desc>  
<frase>tem atributo</frase>  
<frase>tem como atributo</frase>  
<frase>tem característica</frase>  
<frase>tem como característica</frase>  
<frase>tem propriedade</frase>  
<frase>tem como propriedade</frase>  
</supertipo>

<supertipo valor="sentido\_inverso">  
<desc>Descrição do supertipo</desc>  
<frase>é atributo de</frase>  
<frase>é característica de</frase>  
<frase>é propriedade de</frase>  
</supertipo>

</supertipo>  
<supertipo valor="exemplificação">

<desc>Esta dimensão agrega as frases de ligação que representam o relacionamento entre dois conceitos no qual um conceito é um exemplo de outro. Assim, por exemplo, na proposição “BRASIL é um exemplo de PAÍS”, o conceito PAÍS é exemplificado por BRASIL. É importante não confundir esta dimensão com a dimensão de classificação, na qual um conceito é uma especialização, e não uma instanciação, de outro.</desc>

<supertipo valor=“sentido\_direto”>

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>tem exemplo</frase>

<frase>tem como exemplo</frase>

<frase>tem instância</frase>

<frase>tem como instância</frase>

<frase>é exemplificado por</frase>

</supertipo> <supertipo valor=“sentido\_inverso”>

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>é exemplo de</frase>

<frase>é instância de</frase>

</supertipo>

</supertipo>

<supertipo valor=“partição”>

<desc>A dimensão de partição ocorre quando um conceito é relacionado com outro de forma a estabelecer uma disposição do “todo” para a “parte” ou vice-versa. Assim, na proposição “CASA tem JANELA”, o conceito CASA representa o todo, enquanto que o conceito JANELA representa a parte. Adicionalmente, o sentido de “todo” e “parte” pode ser ligado ao sentido de tempo/execução/ocorrência. Assim, na proposição “DOENÇA tem fase INFECÇÃO”, os dois conceitos estão ligados por uma dimensão de partição, porém não com o sentido físico, mas com o sentido de ocorrência/tempo. </desc>

<supertipo valor=“temporalidade”>

<desc>Esta dimensão representa a ligação semântica existente entre dois conceitos na qual um conceito é uma etapa, estágio de outro. Em outras palavras, esta dimensão representa uma relação de partição, porém não no sentido físico, e sim com a idéia de temporalidade/ocorrência. Por exemplo, na proposição “CICLO DA ÁGUA tem fase EVAPORAÇÃO”, entende-se que EVAPORAÇÃO é uma etapa, uma ocorrência dentro do fenômeno CICLO DA ÁGUA.</desc>

<supertipo valor=“sentido\_direto”>

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>tem</frase>

<frase>tem etapa</frase>

<frase>tem fase</frase>

<frase>tem estágio</frase>

<frase>tem sessão</frase>

<frase>tem passo</frase>

<frase>tem parte</frase>

<frase>é agregado de</frase>

<frase>é composto de</frase>

<frase>inclui</frase>

<frase>contém</frase>

<frase>possui</frase>

</supertipo>

<supertipo valor=“sentido\_inverso”>

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>é etapa de</frase>

<frase>é fase de</frase>

<frase>é estágio de</frase>

<frase>é sessão de</frase>

<frase>é passo de</frase>

<frase>é parte de</frase>

<frase>é componente de</frase>

<frase>é incluído em</frase>

<frase>é contido em</frase>

</supertipo>

</supertipo>

<supertipo valor=“física”>

<desc>Esta dimensão agrega as frases de ligação utilizadas para representar o relacionamento existente entre dois conceitos quando um é parte/pedaco de outro, no sentido físico. Assim sendo, na proposição “CASA tem parte JANELA”, podemos observar que o conceito JANELA representa uma parte, um pedaço, enquanto que o conceito CASA representa o todo. </desc>

<supertipo valor=“sentido\_direto”>

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>tem</frase>

<frase>tem parte</frase>

<frase>tem pedaço</frase>

<frase>tem seção</frase>

<frase>é agregado de</frase>

<frase>é composto de</frase>

<frase>inclui</frase>

<frase>contém</frase>

<frase>possui</frase>

</supertipo>

<supertipo valor=“sentido\_inverso”>

<desc>Descrição do supertipo</desc>

<frase>é parte de</frase>

<frase>é pedaço de</frase>

<frase>é seção de</frase>  
 <frase>é componente de</frase>  
 <frase>é incluído em</frase>  
 <frase>é contido em</frase>  
 </supertipo>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="organização">  
 <desc>Esta dimensão representa a ligação semântica existente entre dois conceitos na qual um conceito é uma parte e outro é o todo. Adicionalmente, o todo está organizado em suas partes. Assim, acrescenta-se o sentido de organização à idéia de partição. Por exemplo, na proposição "EDIFÍCIO está organizado em ANDARES", o conceito EDIFÍCIO é o todo e o conceito ANDARES é a parte que organiza o todo.</desc>  
 <supertipo valor="sentido\_direto">  
 <desc>Descrição do supertipo</desc>  
 <frase>tem</frase>  
 <frase>tem seção</frase>  
 <frase>tem camada</frase>  
 <frase>tem nível</frase>  
 <frase>é organizado em</frase>  
 <frase>é agregado de</frase>  
 <frase>é composto de</frase>  
 <frase>inclui</frase>  
 <frase>contém</frase>  
 <frase>possui</frase>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="sentido\_inverso">  
 <desc>Descrição do supertipo</desc>  
 <frase>é seção de</frase>  
 <frase>é camada de</frase>  
 <frase>é nível de</frase>  
 <frase>é componente de</frase>  
 <frase>é incluído em</frase>  
 <frase>é contido em</frase>  
 </supertipo>  
 </supertipo>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="objetivação">  
 <desc>Esta dimensão representa a ligação existente entre dois conceitos quando um dos conceitos representa o objetivo/finalidade do outro. Assim, por exemplo, na proposição "ESTUDAR tem a finalidade de APRENDER", o conceito APRENDER é o objetivo do conceito ESTUDAR.</desc>  
 <supertipo valor="sentido\_direto">  
 <desc>Descrição do supertipo</desc>  
 <frase>tem a finalidade</frase>  
 <frase>tem o objetivo</frase>  
 <frase>tem como finalidade</frase>  
 <frase>tem como objetivo</frase>  
 <frase>objetiva</frase>  
 </supertipo>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="sentido\_inverso">  
 <desc>Descrição do supertipo</desc>  
 <frase>é finalidade de</frase>  
 <frase>é objetivo de</frase>  
 </supertipo>  
 </supertipo>  
 </supertipo>  
 <supertipo valor="simetria">  
 <desc>A dimensão de simetria representa a relação semântica entre dois conceitos na qual a mudança da ordem de leitura dos conceitos não resulta em alteração substancial no sentido da proposição. Por exemplo, dada a proposição "PRÉDIO é o mesmo que EDIFÍCIO", se alterarmos a posição dos conceitos, a proposição resultante "EDIFÍCIO é o mesmo que PRÉDIO" mantém o sentido inicial. A dimensão de assimetria, por outro lado, representa a relação semântica entre conceitos na qual o significado da proposição é alterado caso haja mudança na posição dos conceitos.</desc>  
 <supertipo valor="temporalidade">  
 <desc>Esta dimensão representa a ligação semântica existente entre conceitos na qual um conceito tem a mesma duração ou ocorrência no tempo que outro. Assim, por exemplo, na proposição "7 DIAS leva o mesmo tempo que UMA SEMANA", o conceito 7 DIAS e o conceito UMA SEMANA possuem a mesma duração.</desc>  
 <supertipo valor="simultaneidade">  
 <desc>Esta dimensão representa a ligação semântica existente entre dois conceitos quando a ocorrência desses conceitos é simultânea no tempo, ou seja, quando os dois existem em um mesmo momento. Assim, por exemplo, na proposição "DIGESTÃO

ocorre ao mesmo tempo que RESPIRAÇÃO”, os conceitos DIGESTÃO e RESPIRAÇÃO, em algum momento no tempo, ocorrem paralelamente.</desc>

<frase>ocorre ao mesmo tempo que</frase>

<frase>existe ao mesmo tempo que</frase>

<frase>ocorre no mesmo momento que</frase>

<frase>existe no mesmo momento que</frase>

<frase>é coincidente com</frase>

<frase>é concomitante com</frase>

<frase>é paralelo com</frase>

<frase>é simultâneo com</frase>

<frase>ocorre paralelamente com</frase>

</supertipo>

<supertipo valor=“duração”>

<desc>Esta dimensão ocorre quando dois conceitos tem a mesma durabilidade. Assim, por exemplo, na proposição “UM MÊS tem a mesma duração de 30 DIAS”, os conceitos UM MÊS e 30 DIAS existem durante a mesma quantidade de tempo.</desc>

<frase>leva</frase>

<frase>dura</frase>

<frase>leva o mesmo tempo que</frase>

<frase>dura o mesmo tempo que</frase>

<frase>tem a mesma durabilidade que</frase>

<frase>tem a mesma duração que</frase>

</supertipo>

</supertipo>

<supertipo valor=“equivalência”>

<desc>Esta dimensão ocorre quando, sob a ótica que está sendo analisada, dois conceitos são iguais. Em outras palavras, um conceito pode substituir o outro. Assim, por exemplo, do ponto de vista químico, a proposição “ÁGUA é o mesmo que H<sub>2</sub>O” significa que os conceitos ÁGUA e H<sub>2</sub>O representam a mesma coisa e podem ser usados indistintamente. É importante enfatizar, contudo, que a equivalência em um contexto de estudo não implica em equivalência em outros contextos. Desta forma, conceitos podem ser equivalentes em uma área e díspares em outra, dependendo dos aspectos relevantes sob análise.</desc>

<frase>é</frase>

<frase>é o mesmo que</frase>

<frase>representa o mesmo que</frase>

<frase>significa</frase>

<frase>significa o mesmo que</frase>

<frase>quer dizer o mesmo que</frase>

<frase>é igual a</frase>

<frase>é equivalente a</frase>

<frase>é idêntico a</frase>

</supertipo>

</supertipo>

</taxonomia>

# Apêndice B

## Uma ontologia exemplo

Este Apêndice B contém uma descrição - dados e metadados - da ontologia usada como exemplo na maioria dos capítulos, em particular no Capítulo 6. Os metadados estão descritos num arquivo DTD<sup>1</sup> e os dados da ontologia são formados a partir da descrição contida no DTD.

### Metadados:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!--
Document : Ontologia.dtd
Created on : 10 de Janeiro de 2005, 14:44
Author : Francisco Edson Rocha
Description: Esquema de dados para orientar a representação de ontologias em XML
-->
<!-- Definição de ontologia: um agregado de conceitos, tipos de relação, possíveis relações e relações entre dois conceitos -->
<!ELEMENT ontologia (dominio, valor-relacao+, relacao-binaria+)>
<!-- Domínio da Ontologia em questão -->
<!ELEMENT dominio (#PCDATA)>
<!-- Definição de valor-relacao: um agregado de frases de um supertipo -->
<!ELEMENT valor-relacao (supertipo) <!ATTLIST valor-relacao cod CDATA #IMPLIED>
<!-- Definição de supertipo e frase de ligação: um agregado de caracteres -->
<!ELEMENT supertipo (frase)* <!ATTLIST supertipo cadeia CDATA #IMPLIED>
<!ELEMENT frase (#PCDATA)>
<!-- Definição de relação entre dois conceitos: um conceito de origem, um código do conceito de destino e um código de associado a um valor relacao -->
<!ELEMENT relacao-binaria (conceito-origem, conceito-destino, cod-valor-relacao) <!ATTLIST relacao-binaria cod CDATA #IMPLIED>
<!-- Definição de código do conceito de origem, código do conceito de destino, e código de um valor relacao: um agregado de caracteres -->
<!ELEMENT conceito-origem (#PCDATA)>
<!ELEMENT conceito-destino (#PCDATA)>
<!ELEMENT cod-valor-relacao (#PCDATA)>
```

---

<sup>1</sup>DTD é um acrônimo para *Data Type Description*.

## Dados da ontologia:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE ontologia SYSTEM "Ontologia.dtd">
<ontologia> <dominio>dominio</dominio>
<valor-relacao cod="0" x="327.25" y="105.5" nomeletra="Arial Negrito" estiletra="1" tamanho="12" corletra="-16777216">
<supertipo cadeia="assimetria.partição.temporalidade.sentido_inverso">
<frase> é fase de</frase>
<frase> é estágio de</frase>
</supertipo>
</valor-relacao>
<valor-relacao cod="1" x="465.75" y="260.5" nomeletra="Arial Negrito" estiletra="1" tamanho="12" corletra="-16777216">
<supertipo cadeia="assimetria.processo.saída.sentido_direto">
<frase> gera</frase>
<frase> causa</frase>
<frase> produz</frase>
<frase> provoca</frase>
<frase> resulta em</frase>
<frase> tem como resultado</frase>
<frase> forma</frase>
<frase> tem como consequência</frase>
</supertipo>
</valor-relacao> <valor-relacao cod="2" x="723.25" y="275.5" nomeletra="Arial Negrito" estiletra="1" tamanho="12" corletra="-16777216">
<supertipo cadeia="assimetria.classificação.sentido_direto">
<frase> pode aparecer como</frase>
<frase> tem tipo</frase>
<frase> pode ser</frase>
</supertipo>
</valor-relacao>
<valor-relacao cod="3" x="579.5" y="458.5" nomeletra="Arial Negrito" estiletra="1" tamanho="12" corletra="-16777216">
<supertipo cadeia="assimetria.processo.saída.sentido_inverso">
<frase> é gerado por</frase>
<frase> é causado por</frase>
<frase> é produzido por</frase>
<frase> é provocado por</frase>
<frase> é resultado de</frase>
<frase> é formado por</frase>
<frase> é consequência de</frase>
</supertipo>
</valor-relacao> <valor-relacao cod="4" x="456.0" y="100.0" nomeletra="Arial Negrito" estiletra="1" tamanho="12" corletra="-16777216">
<supertipo cadeia="assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto">
<frase> tem fase</frase>
</supertipo>
</valor-relacao>
```

<frase> tem estágio</frase>  
 </supertipo>  
 </valor-relacao>  
 <valor-relacao cod="5" x="320.5" y="225.5" nomeletra="Arial Negrito" estileletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216">  
 <supertipo cadeia="assimetria.temporalidade.ordenação.sentido\_direto">  
 <frase> precede</frase>  
 <frase> antecede</frase>  
 <frase> ocorre antes de</frase>  
 </supertipo>  
 </valor-relacao>  
 <valor-relacao cod="6" x="34.75" y="320.0" nomeletra="Arial Negrito" estileletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216">  
 <supertipo cadeia="assimetria.processo.saída.sentido\_inverso">  
 <frase> é gerado por</frase>  
 <frase> é causado por</frase>  
 <frase> é produzido por</frase>  
 <frase> é provocado por</frase>  
 <frase> é resultado de</frase>  
 <frase> é formado por</frase>  
 <frase> é consequência de</frase>  
 </supertipo>  
 </valor-relacao> <valor-relacao cod="7" x="546.5" y="394.5" nomeletra="Arial Negrito" estileletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216">  
 <supertipo cadeia="assimetria.processo.saída.sentido\_direto">  
 <frase> gera</frase>  
 <frase> causa</frase>  
 <frase> produz</frase>  
 <frase> provoca</frase>  
 <frase> resulta em</frase>  
 <frase> tem como resultado</frase>  
 <frase> forma</frase>  
 <frase> tem como consequência</frase>  
 </supertipo>  
 </valor-relacao> <valor-relacao cod="8" x="330.5" y="180.5" nomeletra="Arial Negrito" estileletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216">  
 <supertipo cadeia="assimetria.temporalidade.ordenação.sentido\_inverso">  
 <frase> é precedido por</frase>  
 <frase> é antecedido por</frase>  
 <frase> sucede</frase>  
 </supertipo>  
 </valor-relacao>  
 <valor-relacao cod="9" x="561.0" y="230.5" nomeletra="Arial Negrito" estileletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216">  
 <supertipo cadeia="assimetria.temporalidade.ordenação.sentido\_direto">  
 <frase> precede</frase>

<frase> antecede</frase>  
<frase> ocorre antes de</frase>  
</supertipo>  
</valor-relacao>  
<valor-relacao cod="10" x="377.5" y="278.0" nomeletra="Arial Negrito" estiletra="1" tamanho="12" corletra="-16777216">  
<supertipo cadeia="assimetria.processo.saída.sentido\_inverso">  
<frase> é gerado por</frase>  
<frase> é causado por</frase>  
<frase> é produzido por</frase>  
<frase> é provocado por</frase>  
<frase> é resultado de</frase>  
<frase> é formado por</frase>  
<frase> é consequência de</frase>  
</supertipo>  
</valor-relacao>  
<valor-relacao cod="11" x="583.5" y="184.0" nomeletra="Arial Negrito" estiletra="1" tamanho="12" corletra="-16777216">  
<supertipo cadeia="assimetria.temporalidade.ordenação.sentido\_inverso">  
<frase> é precedido por</frase>  
<frase> é antecedido por</frase>  
<frase> sucede</frase>  
</supertipo>  
</valor-relacao>  
<valor-relacao cod="12" x="147.25" y="216.0" nomeletra="Arial Negrito" estiletra="1" tamanho="12" corletra="-16777216">  
<supertipo cadeia="assimetria.processo.saída.sentido\_inverso">  
<frase> é gerado por</frase>  
<frase> é causado por</frase>  
<frase> é produzido por</frase>  
<frase> é provocado por</frase>  
<frase> é resultado de</frase>  
<frase> é formado por</frase>  
<frase> é consequência de</frase>  
</supertipo>  
</valor-relacao>  
<valor-relacao cod="13" x="215.5" y="334.5" nomeletra="Arial Negrito" estiletra="1" tamanho="12" corletra="-16777216">  
<supertipo cadeia="assimetria.processo.saída.sentido\_direto">  
<frase> gera</frase>  
<frase> causa</frase>  
<frase> produz</frase>  
<frase> provoca</frase>  
<frase> resulta em</frase>  
<frase> tem como resultado</frase>  
<frase> forma</frase>  
<frase> tem como consequência</frase>

```

</supertipo>
</valor-relacao>
<valor-relacao cod="14" x="606.75" y="263.0" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216">
<supertipo cadeia="assimetria.classificação.sentido_inverso">
<frase> é forma de</frase>
<frase> é tipo de</frase>
</supertipo>
</valor-relacao>
<valor-relacao cod="15" x="236.25" y="246.0" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216">
<supertipo cadeia="assimetria.processo.saída.sentido_direto">
<frase> gera</frase>
<frase> causa</frase>
<frase> produz</frase>
<frase> provoca</frase>
<frase> resulta em</frase>
<frase> tem como resultado</frase>
<frase> forma</frase>
<frase> tem como consequência</frase>
</supertipo>
</valor-relacao>
<relacao-binaria cod="0">
<conceito-origem>Precipitação</conceito-origem>
<conceito-destino>Ciclo da Água</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>0</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="1">
<conceito-origem>Condensação</conceito-origem>
<conceito-destino>Ciclo da Água</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>0</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="2">
<conceito-origem>Evaporação</conceito-origem>
<conceito-destino>Ciclo da Água</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>0</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="3">
<conceito-origem>Condensação</conceito-origem>
<conceito-destino>Orvalho</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>1</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="4">
<conceito-origem>Condensação</conceito-origem>
<conceito-destino>Nuvem</conceito-destino>

```

```

<cod-valor-relacao>1</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="5">
<conceito-origem>Condensação</conceito-origem>
<conceito-destino>Neblina</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>1</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="6">
<conceito-origem>Condensação</conceito-origem>
<conceito-destino>Geada</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>1</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="7">
<conceito-origem>Precipitação</conceito-origem>
<conceito-destino>Granizo</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>2</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="8">
<conceito-origem>Precipitação</conceito-origem>
<conceito-destino>Neve</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>2</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="9">
<conceito-origem>Precipitação</conceito-origem> <conceito-destino>Chuva</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>2</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="10">
<conceito-origem>Chuva</conceito-origem>
<conceito-destino>Nuvem</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>3</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="11">
<conceito-origem>Neve</conceito-origem>
<conceito-destino>Nuvem</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>3</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="12">
<conceito-origem>Granizo</conceito-origem>
<conceito-destino>Nuvem</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>3</cod-valor-relacao> </relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="13">
<conceito-origem>Ciclo da Água</conceito-origem>
<conceito-destino>Evaporação</conceito-destino>

```

```

<cod-valor-relacao>4</cod-valor-relacao> </relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="14">
<conceito-origem>Ciclo da Água</conceito-origem>
<conceito-destino>Condensação</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>4</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="15">
<conceito-origem>Ciclo da Água</conceito-origem>
<conceito-destino>Precipitação</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>4</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="16">
<conceito-origem>Evaporação</conceito-origem>
<conceito-destino>Condensação</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>5</cod-valor-relacao> </relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="17">
<conceito-origem>Neblina</conceito-origem>
<conceito-destino>Vapor d'Água</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>6</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="18">
<conceito-origem>Nuvem</conceito-origem>
<conceito-destino>Vapor d'Água</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>6</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="19">
<conceito-origem>Orvalho</conceito-origem>
<conceito-destino>Vapor d'Água</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>6</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="20">
<conceito-origem>Geadas</conceito-origem>
<conceito-destino>Vapor d'Água</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>6</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="21">
<conceito-origem>Nuvem</conceito-origem>
<conceito-destino>Neve</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>7</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="22">
<conceito-origem>Nuvem</conceito-origem>
<conceito-destino>Granizo</conceito-destino>
<cod-valor-relacao>7</cod-valor-relacao>
</relacao-binaria>
<relacao-binaria cod="23">
<conceito-origem>Nuvem</conceito-origem>
<conceito-destino>Chuva</conceito-destino>

```

<cod-valor-relacao>7</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="24">  
 <conceito-origem>Condensação</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Evaporação</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>8</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="25">  
 <conceito-origem>Condensação</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Precipitação</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>9</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="26">  
 <conceito-origem>Neblina</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Condensação</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>10</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="27">  
 <conceito-origem>Nuvem</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Condensação</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>10</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="28">  
 <conceito-origem>Geada</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Condensação</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>10</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="29">  
 <conceito-origem>Orvalho</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Condensação</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>10</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="30">  
 <conceito-origem>Precipitação</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Condensação</conceito-destino> <cod-valor-relacao>11</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="31">  
 <conceito-origem>Vapor d'Água</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Evaporação</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>12</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="32">  
 <conceito-origem>Vapor d'Água</conceito-origem>

<conceito-destino>Nuvem</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>13</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="33">  
 <conceito-origem>Vapor d'Água</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Neblina</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>13</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="34">  
 <conceito-origem>Vapor d'Água</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Orvalho</conceito-destino> <cod-valor-relacao>13</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="35">  
 <conceito-origem>Vapor d'Água</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Geada</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>13</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="36">  
 <conceito-origem>Neve</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Precipitação</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>14</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="37">  
 <conceito-origem>Chuva</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Precipitação</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>14</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="38">  
 <conceito-origem>Granizo</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Precipitação</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>14</cod-valor-relacao>  
 </relacao-binaria>  
 <relacao-binaria cod="39">  
 <conceito-origem>Evaporação</conceito-origem>  
 <conceito-destino>Vapor d'Água</conceito-destino>  
 <cod-valor-relacao>15</cod-valor-relacao> </relacao-binaria>  
 <conceito id="16" texto="Granizo" x="838.0" y="474.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>  
 <conceito id="17" texto="Geada" x="89.0" y="417.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>  
 <conceito id="18" texto="Nuvem" x="278.0" y="424.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>  
 <conceito id="19" texto="Evaporação" x="220.0" y="181.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial

Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>

<conceito id="20" texto="Orvalho" x="171.0" y="414.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>

<conceito id="21" texto="Nebolina" x="359.0" y="513.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>

<conceito id="22" texto="Neve" x="694.0" y="386.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>

<conceito id="23" texto="Ciclo da Água" x="364.0" y="11.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>

<conceito id="24" texto="Vapor d'Água" x="132.0" y="279.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>

<conceito id="25" texto="Orvalho" x="518.0" y="494.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>

<conceito id="26" texto="Precipitação" x="710.0" y="178.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>

<conceito id="27" texto="Nebolina" x="15.0" y="418.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>

<conceito id="28" texto="Geada" x="434.0" y="500.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>

<conceito id="29" texto="Condensação" x="448.0" y="193.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>

<conceito id="30" texto="Chuva" x="617.0" y="344.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Arial Negrito" estiloletra="1" tamanholetra="12" corletra="-16777216"/>

<arco origem="12" alvo="19" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="0" alvo="23" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="1" alvo="28" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="19" alvo="0" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="15" alvo="24" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="26" alvo="0" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="28" alvo="10" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="24" alvo="13" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="3" alvo="18" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="8" alvo="19" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="18" alvo="10" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="29" alvo="0" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="29" alvo="9" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="13" alvo="18" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="14" alvo="26" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="29" alvo="1" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="7" alvo="22" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="4" alvo="26" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="26" alvo="11" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="18" alvo="6" corlinha="-16777216" estilo="0"/>

<arco origem="7" alvo="16" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="5" alvo="29" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="6" alvo="24" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="30" alvo="3" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="25" alvo="10" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="13" alvo="17" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="4" alvo="29" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="19" alvo="5" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="13" alvo="27" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="26" alvo="2" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="17" alvo="6" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="13" alvo="20" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="11" alvo="29" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="4" alvo="19" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="2" alvo="22" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="21" alvo="10" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="10" alvo="29" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="18" alvo="7" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="7" alvo="30" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="16" alvo="3" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="2" alvo="16" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="22" alvo="3" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="20" alvo="6" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="1" alvo="25" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="27" alvo="6" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="30" alvo="14" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="24" alvo="12" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="9" alvo="26" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="29" alvo="8" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="22" alvo="14" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="2" alvo="30" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="1" alvo="18" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="1" alvo="21" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="23" alvo="4" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="16" alvo="14" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
<arco origem="19" alvo="15" corlinha="-16777216" estilo="0"/>  
</ontologia>

# Apêndice C

## Detalhes de Implementação

Do ambiente apresentado na Figura 1.1 foram implementados protótipos dos dois editores gráficos - o editor de mapas conceituais e o editor de ontologias - e do algoritmo genético. As implementações foram baseadas no estado da arte e melhores práticas da Engenharia de Software e da Interação Humano-Computador. Neste anexo são apresentados os requisitos gerais que guiaram os projetos de software e os detalhes das implementações que foram realizadas.

**Requisitos Gerais.** Os protótipos desenvolvidos se enquadram numa metodologia geral de desenvolvimento que é sintetizada pela seguinte lista de requisitos:

- Minimizar o formalismo necessário para uso do sistema. Como o ambiente é projetado para servir a professores e estudantes de todos os níveis de ensino e também ao público em geral, a meta determinada por este requisito deverá estar presente em todas as funções implementadas no protótipo. Este requisito de simplicidade deverá se aplicar também em relação à instalação e manutenção do sistema;
- Disponibilizar funções típicas de editores gráficos de mapas conceituais: o ambiente deve permitir desenhar e editar mapas, oferecendo metáforas para conceitos e proposições, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa e aquelas típicas de edição, como cortar, colar, desfazer, arrastar e soltar, e outras da mesma natureza;
- Disponibilizar funções ligadas à retenção de mapas conceituais: o ambiente deverá permitir salvar e recuperar mapas armazenados em mídia não volátil;
- Disponibilizar funções de apoio aos trabalhos escolares com base em mapas conceituais: a) Leitura e Resumo; b) Planejamento de trabalho em grupo; c) Planejamento de escrita e d) Apresentação. O ambiente deverá disponibilizar também várias funções de leitura de mapas, objetivando conferir a integridade de sua estrutura, por exemplo;
- Disponibilizar funções para avaliação da aprendizagem significativa. Estas funções envolvem a implementação do algoritmo genético especificado no Capítulo 6 e de um componente avaliador que realize as funções descritas no modelo de avaliação da Seção 6.9;
- Disponibilizar funções para salvar instântaneos de mapas conceituais. O ambiente deverá oferecer os meios para, no curso de uma tarefa de aprendizagem, armazenar versões progressivas do mesmo mapa para fins de avaliação da aprendizagem;
- Disponibilizar funções para exportar mapas conceituais: o ambiente deve ser capaz de interoperar com outras ferramentas baseado em modelos comuns de representação de mapas conceituais;
- O ambiente deverá oferecer as condições operacionais para a construção de mapas conceituais livres de contexto e mapas conceituais contextualizados. Mapas livres de contexto são mapas construídos sem qualquer restrição sintática ou semântica do ambiente e

mapas contextualizados são aqueles construídos conforme as opções ofertadas por uma ontologia de domínio;

- O ambiente deverá implementar uma ferramenta de edição que sirva para construir ontologias de domínio. Estas servirão para criar contextos que poderão ser associados a tarefas de aprendizagem e ajudar na avaliação. Em particular, a ferramenta de edição deverá implementar a gramática de inclusividade descrita na seção 5.2 e a função de cálculo de distâncias semânticas entre proposições e mapas conceituais;
- O ambiente deverá oferecer os meios para ampliar a explicitação de significados de conceitos, proposições e idéias presentes no mapas conceituais, disponibilizando repositório de objetos multimídia que poderão ser anexados aos conceitos do mapa. São candidatos a esta lista de *decorações*: textos livres e classificados (por exemplo, introdução, resumos, lista bibliográfica), vídeos, clipes musicais, figuras, desenhos, outros mapas conceituais, páginas de hipertexto, outros objetos relevantes para construção de significado. O objetivo principal deste requisito é abrir espaço para manifestação de outras formas de inteligência na construção de mapas e explicitação de significados (Gardner, 2002);
- O ambiente deverá implementar um módulo administrativo e um repositório. O módulo administrativo controlará o acesso ao ambiente (registro e identificação de usuários, por exemplo) e o acesso aos editores e ao avaliador. O sistema de registro do administrador atribuirá direitos de acesso a funcionalidades específicas do ambiente. Por exemplo, professores registrados no sistema deverão poder acessar o editor de MCs, o editor de ontologias e o componente avaliador enquanto que estudantes terão acesso somente ao editor de MCs. O repositório deverá armazenar MCs, resultados de avaliações e populações de MCs geradas pelo AG. Cada população armazenada no repositório será indexada pela ontologia usada na sua geração.

**Estrutura dos Protótipos.** Os protótipos foram todos desenvolvidos em linguagem Java, de acordo com o paradigma da orientação a objetos. Na implementação do protótipo do *GAADT-CM*, optou-se por usar duas linguagens: Java e Prolog. Java foi mantida em virtude das vantagens que esta linguagem tem, como independência de plataforma e suporte robusto e natural aos conceitos da orientação a objetos, e Prolog pela estrutura extremamente bem adaptada para implementar regras de inferência.

**A Escolha do Paradigma.** A orientação a objetos permite a reutilização de código em diversos níveis, o que é altamente desejável na implementação de software do porte de um editor gráfico e de um AG como o *GAADT-CM*. Este paradigma prescreve a descrição do domínio do problema e do espaço de solução através de classes de objetos instanciáveis, que podem ser considerados unidades independentes de processamento. As classes são os moldes a partir dos quais os objetos unívocos são criados. Objetos possuem identidade única na comunidade de objetos que se forma a cada execução do programa. Além disso, objetos também possuem características (*atributos*) e comportamento (*métodos*) que determinam a forma como o objeto reage a estímulos externos. Objetos são instâncias de classes, que se organizam em hierarquias de herança, onde as subclasses herdam atributos e métodos das superclasses.

Adicionalmente, classes podem se relacionar através de associações, que incluem mecanismos para modelar relações tipo todo-parte (chamados de relacionamentos de *agregação* ou *composição*). Essas associações também são herdadas pelas subclasses e representam, nos objetos criados a partir das classes, canais de conversação (*ligações*), por onde objetos clientes solicitam serviços a objetos servidores (Jacobson et al., 2000). Como consequência mais importante do paradigma, a execução de um programa passa a ser a troca de mensagens e a respectiva execução dos serviços solicitados pelos objetos clientes. Assim sendo, quaisquer resultados obtidos de um programa orientado a objetos são sempre gerados a partir dos esforços conjuntos dos objetos da comunidade.

O paradigma da orientação a objetos é bem próximo da realidade encontrada em diversos domínios (onde diversas entidades independentes e unívocas contribuem de alguma forma para se chegar a um objetivo), facilitando sobremaneira a sua modelagem computacional. Isto é especialmente verdade com os modelos trabalhados nesta pesquisa. Tomando como exemplo os algoritmos genéticos, verifica-se que estes trabalham com populações de indivíduos que são criadas e avaliadas. Neste sentido, cada indivíduo de um AG pode ser modelado como um objeto com características únicas (o cromossomo). As próprias populações geradas também são objetos dos quais os objetos-indivíduos fazem parte. Há ainda o meio-ambiente, onde os cromossomos irão competir pela sobrevivência (no caso específico, pela proximidade com o mapa do estudante). Como se pode observar, o paradigma de orientação a objetos fornece mecanismos bastante naturais para a modelagem de um AG e, por esse motivo, foi o paradigma utilizado no projeto de software e codificação do *GAADT-CM*.

As seções que seguem apresentam os detalhes das implementações realizadas.

**Os editores gráficos.** As características mais importantes das interfaces do usuário do *CMEditor* e do *On\_Tool* foram definidas a partir de pesquisas realizadas com alunos dos cursos de Bacharelado em Ciência da Computação e Bacharelado em Sistemas de Informação da Universidade Federal do Pará, que experimentaram versões anteriores dos protótipos. A principal demanda destes usuários foi a simplificação do processo de desenho.

Para responder a esta demanda foram usadas as melhores técnicas de Engenharia de Usabilidade, centrando a solução num processo que explora a intuição do usuário e, ao mesmo tempo, retém a atenção do mesmo na tarefa de desenhar. As técnicas utilizadas para colocar em prática estas idéias são, principalmente, botões flutuantes e a técnica de arrastar-e-soltar (Silva, 2006). Na Figura C.1 um MC representa a modelagem conceitual da técnica de desenho implementada em ambos os editores.

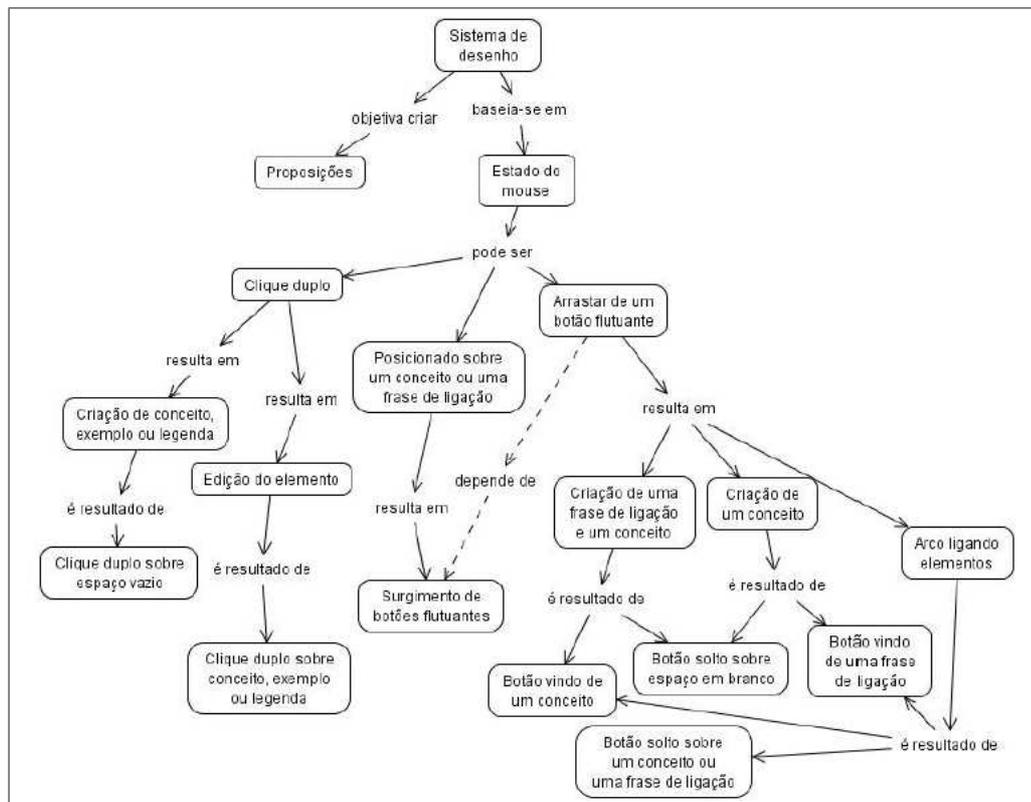


Figura C.1 – Técnica de desenho implementada nos editores gráficos

O suporte a programas gráficos da linguagem de programação orientada a objetos Java, chamado de Swing, possui uma metodologia de organização de tarefas próprias da interface do

usuário baseada no conceito de ação. Uma ação é qualquer tarefa que o usuário possa executar em um programa, sendo a tarefa acessível por meio de barras de menus, menus flutuantes ou barras de ferramentas. O projeto dos editores do ambiente tira vantagem desta organização e, dessa forma, todas as ações que o usuário possa realizar estão representadas na barra de menus de cada editor, conforme está mostrado no MC da Figura C.2. As ações mais frequentemente usadas como, por exemplo, a criação de um novo arquivo, foram incluídas na barra de ferramentas .

A implementação do *CMEditor* foi organizada em cinquenta e uma classes distribuídas por 9 pacotes. Estes pacotes e respectivas classes estão listados na Tabela C.1.

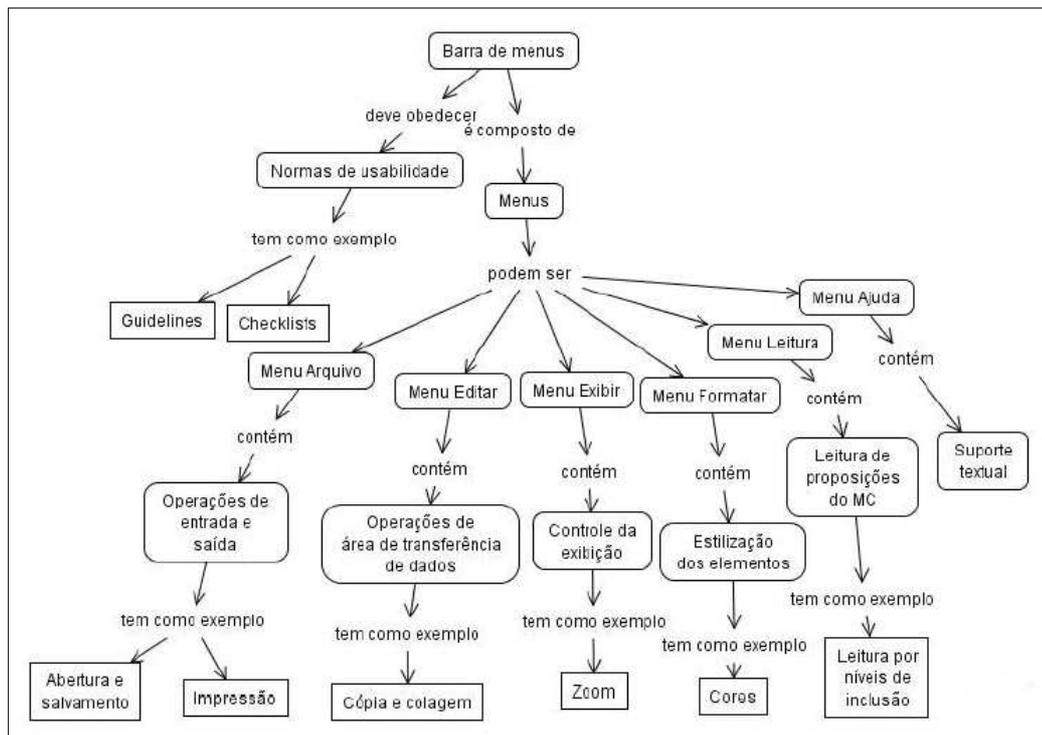


Figura C.2 – As barras de menus do *CMEditor* e do *On\_Tool*

As classes que compõem estes pacotes, seus atributos e métodos, estão representadas nas Figuras C.3, C.4, C.5, C.7, C.8, C.9, C.10, C.11 e C.6. Segue uma breve discussão sobre o conteúdo de cada um desses pacotes.

**Pacote *cmeditor*.** A classe *CMEditor* inicia a execução do editor e contém métodos de reconhecimento dos eventos de janela que servem para manipular a janela gráfica do editor e, eventualmente, terminar a execução do programa.

**Pacote *cmeditor.desenho*** A classe *AreaDesenho* serve para controlar os eventos da janela gráfica no decorrer de uma sessão de desenho de um MC. Exemplos deste tipo de evento pode ser controlar o uso dos botões “desfazer”, recolher informações textuais entradas pelo usuário, como o nome de arquivos, atualizar o tamanho da janela e outros de mesma natureza.

**Pacote *cmeditor.desenho.elemento*** As classes deste pacote foram projetadas para iniciar e finalizar o desenho de todos os elementos constituintes de um MC. São exemplos destes elementos os vértices em geral, que podem ser especializados em “conceito”, “exemplo” e “legenda”, as setas, as frases e os tipos de arco.

**Pacote *cmeditor.desenho.metodo*.** As classes deste pacote foram projetadas para realizar funções de apoio ao desenho e edição de mapas, como, por exemplo, auxiliar a conectar conceitos, inserir frases de ligação no ponto médio da distância entre 2 conceitos, auxiliar na leitura semântica de mapas conceituais, ajudando a distinguir os construtos teóricos existentes nos mesmos, auxiliar no tratamento de strings, e outras funções utilitárias de mesma natureza.

**Tabela C.1** – Pacotes e classes do *CMEditor*

Pacotes	Classes
cmecedor	CMEditor
cmecedor.desenho	AreaDesenho
cmecedor.desenho.elemento	Vertice, Conceito, Exemplo, Legenda, Seta, SetaContinua, SetaTracejada, FraseEnlace, FraseLivre, FraseContextualizada ArcoContinuo, ArcoTracejado
cmecedor.desenho.metodo	Conexoes, LeituraMapa, TratamentoStrings, TratamentoManuseio, CriadorViews, AreaTransferencia, EdicaoElementos, InsercaoElementos
cmecedor.desenho.view	ViewSetaContinua, ViewVertice, ViewConceito, ViewPortPadrao, ViewSetaTracejada
cmecedor.gui	BarraMenus, Acoes, BarraFerramentas, BarrasRolagem, MenuPoup
cmecedor.gui.dialogo	PainelPreferencias, PainelCor, PainelElementoContextualizado, PainelFonte, Dialogos, DialogoTaxonomia, DialogoSobre, SeletorArquivo
cmecedor.io	ManipuladorXML, Mapa, ManipuladorRecentes, Supertipo, LeitorXML, EscritorXML, FiltroArquivo, ArvoreTaxonomia
on_tool.io	ManipuladorXML2, LeitorXML2

**Pacote cmecedor.desenho.view.** As classes desse pacote auxiliam a construir a visualização gráfica de cada um dos elementos que pode estar contido num mapa conceitual.

**Pacote cmecedor.gui.** Este pacote contém as classes responsáveis pelo gerenciamento de ações envolvendo eventos originados na barra de menus, barra de ferramentas, barras de rolagem e menus *popup*. Exemplo destas ações: abrir (ou salvar) arquivo e consultar as páginas de ajuda.

**Pacote cmecedor.gui.dialogo.** As classes desse pacote são responsáveis pelo gerenciamento dos diálogos relacionados às funções existentes na barra de menus. Exemplos deste tipo de diálogo: diálogo para Inserção de Elemento, diálogo para a escolha da cor de contorno ou preenchimento de um elemento pré-existente num MC.

**Pacote cmecedor.io.** As classes desse pacote são responsáveis por: (i) transformar a representação XML de um MC na representação gráfica correspondente; (ii) transformar a representação XML de um MC em objetos java e vice-versa; (iii) Ler e gravar em mídia não volátil a representação XML de mapas conceituais.

**Pacote on\_tool.io.** O pacote on\_tool.io contém somente classes auxiliares daquelas do pacote cmecedor.io.

De modo semelhante, o projeto de *software* do editor de ontologias, o *On\_Tool*, foi organizado em 43 classes distribuídas em 8 pacotes, com nomes e funções semelhantes àquelas do *CMEditor*. A Tabela C.2 contém a descrição dos pacotes e classes desse editor.

**O projeto do GAADT-CM.** O diagrama UML da Figura C.12 mostra os pacotes do GAADT-CM e as relações de dependência entre eles. Na seqüência, as classes que compõem este pacote serão descritas. O objetivo é apresentar uma ideia do conjunto de classes utilizadas e como estas classes dividiram entre si as responsabilidades do sistema.

**Tabela C.2** – Pacotes e classes do *On\_Tool*

Pacotes	Classes
on_tool	On_Tool
on_tool.desenho	AreaDesenho
on_tool.desenho.elemento	Vertice, Conceito, Legenda, Seta, SetaDireita, SetaEsquerda, RelacaoBinaria, Arco
on_tool.desenho.metodo	Conexoes, TratamentoStrings, TratamentoManuseio, InsercaoElementos, AreaTransferencia, EdicaoElementos, CriadorViews
on_tool.desenho.view	ViewSetaDireita, ViewVertice, ViewConceito, ViewPortPadrao, ViewSetaEsquerda
on_tool.gui	BarraMenus, Acoes, BarraFerramentas, BarrasRolagem, MenuPoup
on_tool.gui.dialogo	PainelPreferencias, PainelCor, PainelFonte, Dialogos, DialogoTaxonomia, DialogoSobre, SeletorArquivo, PainelEstiloLinha
on_tool.io	ManipuladorXML, Ontologia, ManipuladorRecentes, Supertipo, LeitorXML, EscriitorXML, FiltroArquivo, ArvoreTaxonomia

Como foi mencionado na Seção 6.3, o algoritmo genético precisa de três insumos para funcionar: (i) o mapa conceitual do estudante; (ii) a taxonomia de frases de ligação, que condensa cadeias taxonômicas e frases categorizadas sob tais cadeias; e (iii) a ontologia de domínio, inserida pelo professor no editor de ontologias, e que contém os conceitos e as dimensões de relacionamento entre estes. Na versão presente do ambiente, estes insumos são codificados em XML para a operação do AG.

Na Figura C.13 observa-se que todas as classes descendem de uma classe abstrata (*XML-Parser*), que implementa um método (*parse()*) capaz de abrir um arquivo XML e quebrá-lo em seus elementos constituintes. As classes *TradutorMapaAprendizXML*, *TradutorOntologiaXML* e *TradutorTaxonomiaXML* são responsáveis, respectivamente, por fazer a análise dos três arquivos XML que servem de entrada ao AG: o arquivo com o mapa do estudante, o arquivo com a ontologia e o arquivo com a taxonomia do ambiente. Nestas classes, métodos *get* são responsáveis por identificar *tags* específicas dentro dos arquivos XML. Eles retornam vetores de *strings* com os elementos XML solicitados. Assim sendo, por exemplo, o método *getFrases()* da classe *TradutorTaxonomiaXML* é responsável por retornar um vetor de strings com as frases de ligação constantes na taxonomia.

O pacote Util é formado pelas classes Util, Ordenador e Gaussiana (Figura 4.3), todas classes auxiliares. Util serve para simular probabilidades e geração de números aleatórias, Ordenador implementa um método sofisticado de ordenação de números e Gaussiana calcula valores de probabilidade aplicando a regra da distribuição normal.

A Figura C.15 ilustra o diagrama de classes do pacote Ontologia. Este pacote condensa as classes necessárias para o tratamento, na forma de objetos, tanto das ontologias de domínio, quanto da taxonomia de frases de ligação. Escolheu-se englobar estes dois aspectos do sistema em um único pacote em virtude das semelhanças que existem entre eles.

No pacote Ontologia, a classe *Conceito* modela um conceito existente numa ontologia de domínio criada pelo professor, ou seja, para cada conceito inserido pelo professor na ontologia, um objeto da classe *Conceito* será criado. A classe *Frases* modela as diferentes frases de ligação que podem existir conectando dois conceitos em uma proposição. Objetos da classe *Frases* são

criados tanto para as frases categorizadas na taxonomia, quanto para as frases selecionadas pelo professor na ontologia de domínio.

A classe *Relacao* modela as relações entre conceitos estabelecidas pelo professor em sua ontologia de domínio. Essa classe possui dois objetos da classe *Conceito* (para modelar os conceitos origem e destino), e um objeto da classe *Cadeia*. Por fim, as classes *Ontologia* e *Taxonomia* modelam, respectivamente, as ontologias de domínio e a taxonomia de frases de ligação.

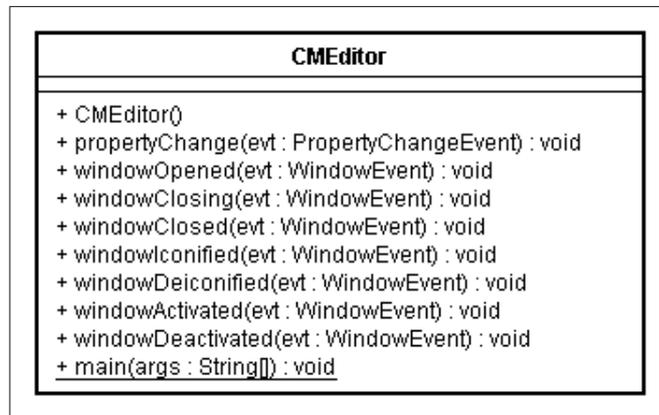
Finalmente, o último e mais importante pacote do GAADT-CM é o pacote GAADT. Este pacote possui as classes que colocam em prática a evolução dos cromossomos, bem como funções fundamentais para todo AG, como cruzamento e seleção. A Figura C.16 ilustra o diagrama de classes deste pacote.

A classe mais básica no pacote GAADT é a classe *AprendizagemRelacao*. Esta classe representa os tipos possíveis de aprendizagem que podem ser representados em um mapa conceitual, ou seja, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. A classe *Gene* representa as proposições que podem formar MCs. Estas proposições são formadas por conceitos origem e destino, uma frase de ligação, e o tipo de aprendizagem que se deseja representar. O método mais importante desta classe é o método *getAdaptacao()*, que retoma o grau de adaptação do gene.

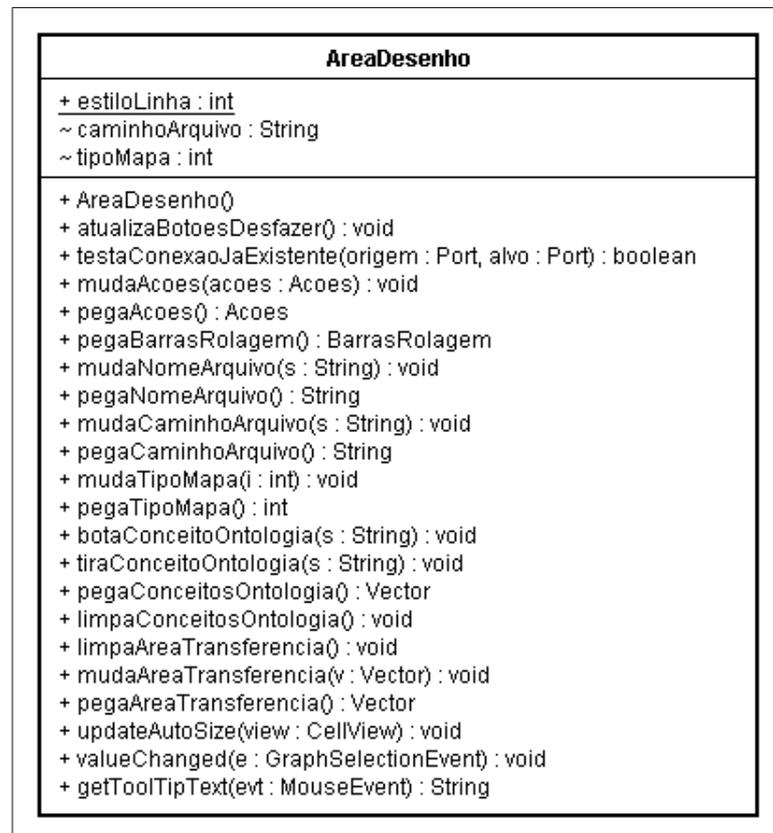
A classe *Cromossomo* representa um mapa conceitual que, por sua vez, é um agrupamento de genes (proposições). Por isso, existe um relacionamento entre a classe *Cromossomo* e a classe *Gene*. Na classe *Cromossomo*, o método mais importante é o método *getAdaptacao()*, que retoma a adaptação do cromossomo (calculada a partir dos graus de adaptação de cada um de seus genes constituintes). A classe *Populacao* é um conjunto de cromossomos e representa as populações de indivíduos que são geradas pelo algoritmo genético. Alguns dos métodos desta classe incluem: *getMediaAdaptacao()*, que retoma a adaptação média da população; *getNr\_cromossomos()*, que retoma o tamanho da população; e *getMelhor()*, que retoma o cromossomo com maior adaptação da população.

*Ambiente* é a classe que possui os métodos fundamentais ao GAADT: *geraGenesAFG()*, que gera o alfabeto do GAADT; *geraCromossomoAFC()*, que gera a população inicial; *verificaCiclo()* e *verificaDesconexao()*, que indicam quando há mapas conceituais construídos incorretamente; *SelecionaCromossomo()*, *Fecundacao()*, *Cruzamento()*, *Mutacao()*, entre outros, que permitem a criação de novas populações a partir de uma população inicial.

A classe GAADT, por fim, é a responsável por chamar cada um dos métodos da classe *Ambiente* em seu devido momento, através do método *aplicaGAADT()*. Adicionalmente, é neste método que são definidos alguns parâmetros importantes do AG, como tamanho das populações, probabilidade de mutação, e assim por diante.



**Figura C.3** – Classes do pacote cmeditor



**Figura C.4** – Classes do pacote cmeditor.desenho

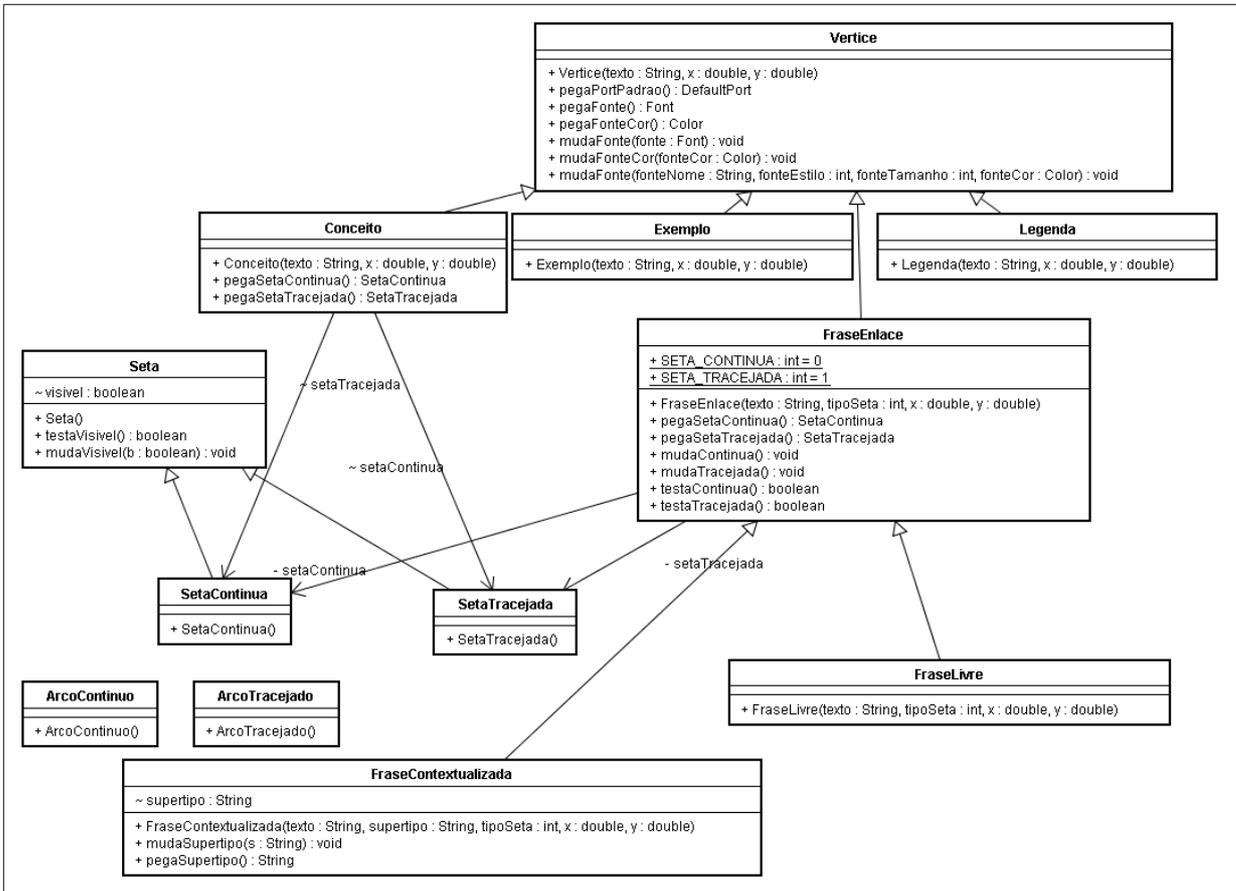


Figura C.5 – Classes do pacote cmeditor.desenho.elemento

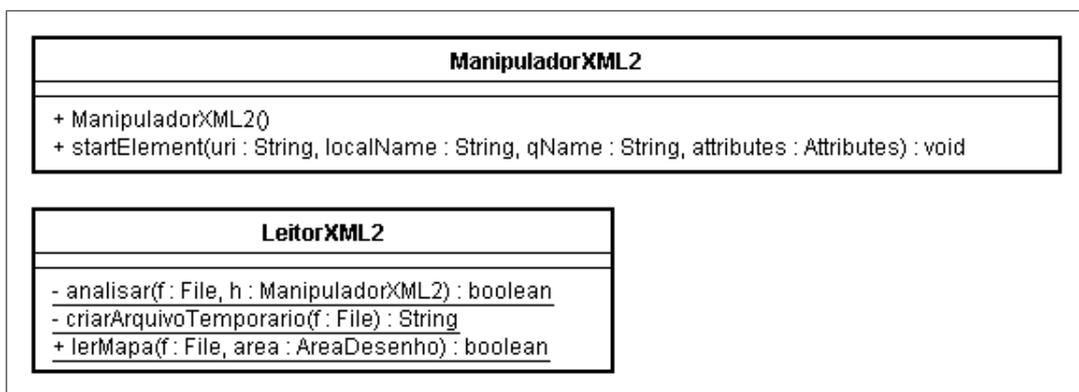


Figura C.6 – Classes do pacote on\_tool.io

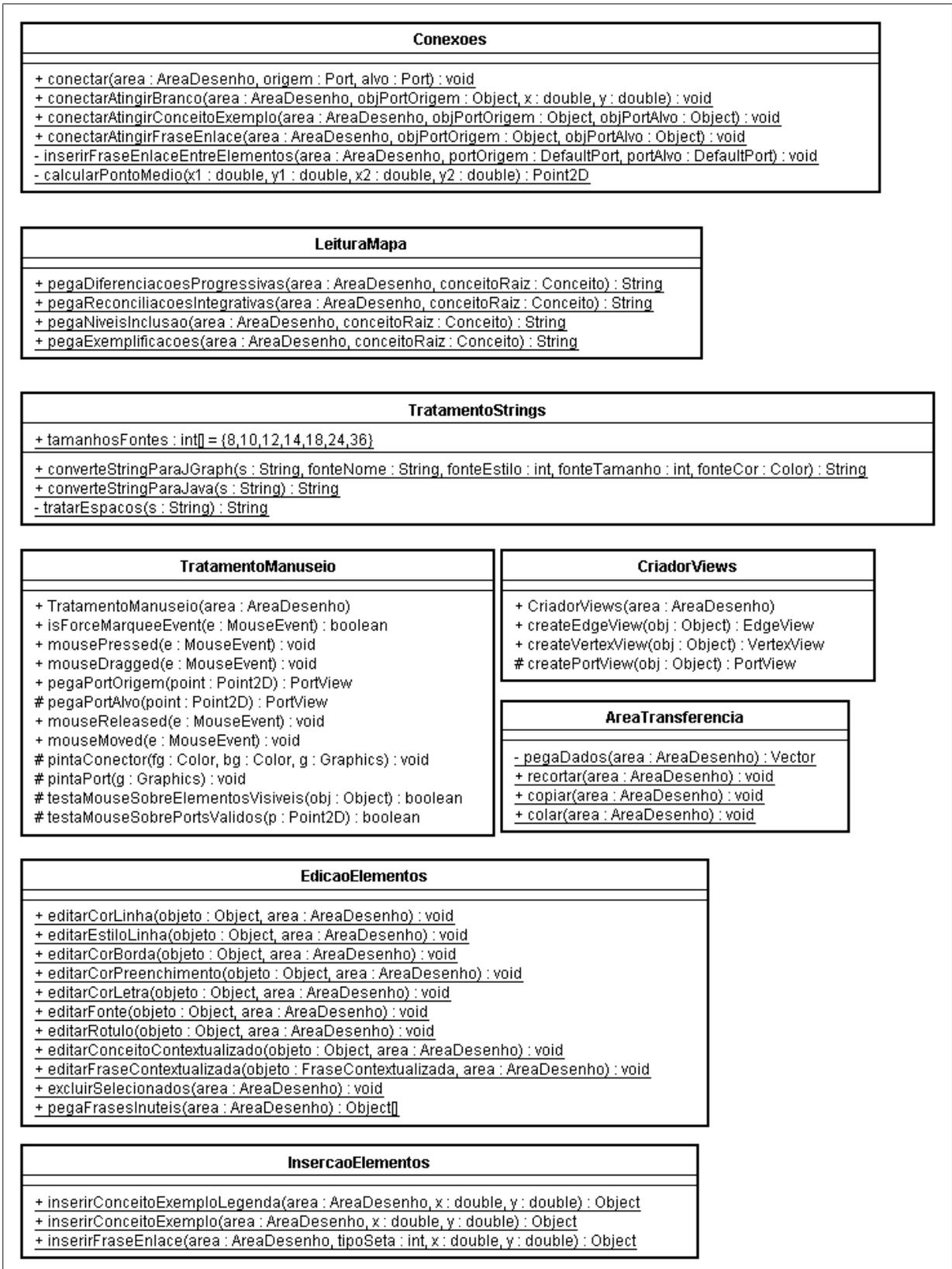


Figura C.7 – Classes do pacote cmeditor.desenho.metodo

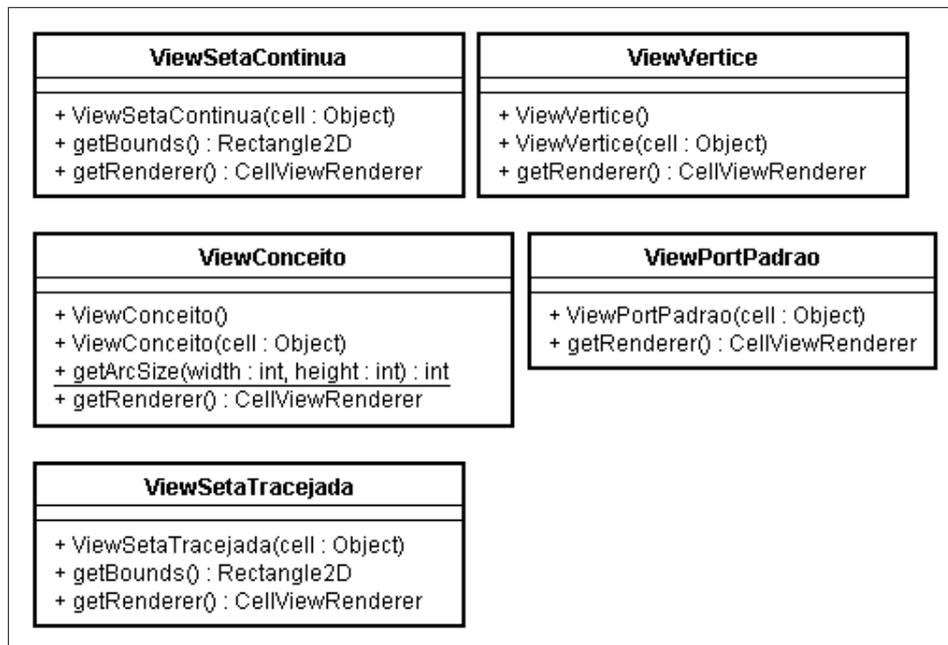


Figura C.8 – Classes do pacote cmeditor.view

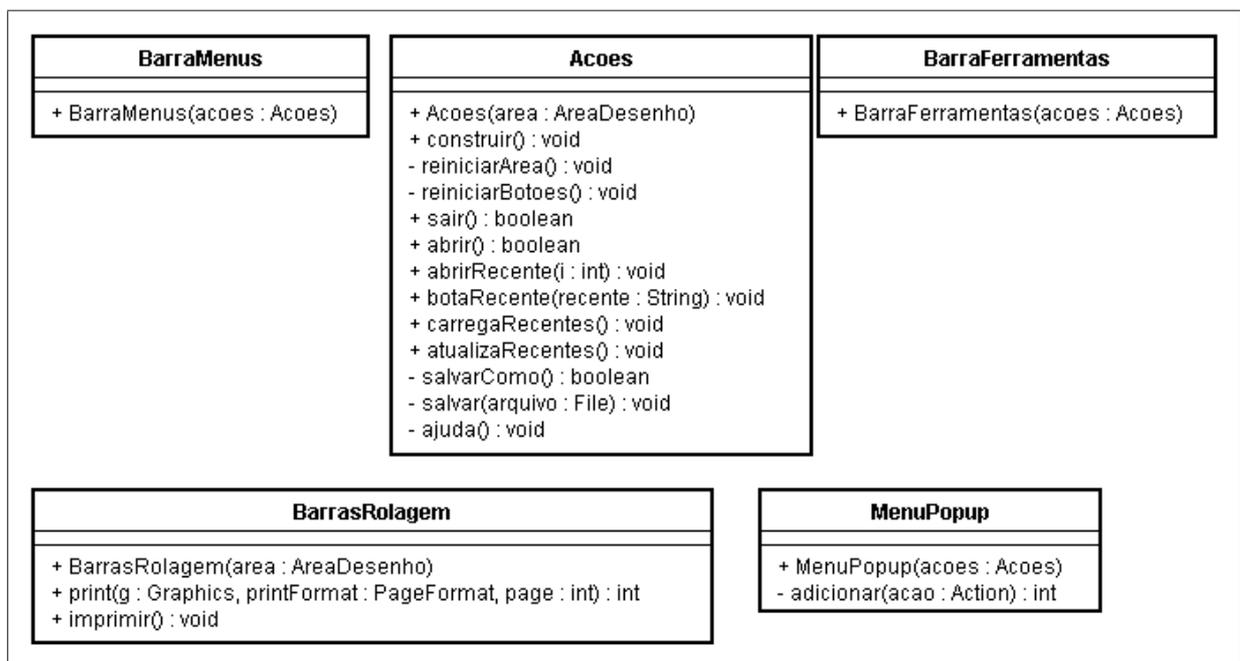


Figura C.9 – Classes do pacote cmeditor.gui

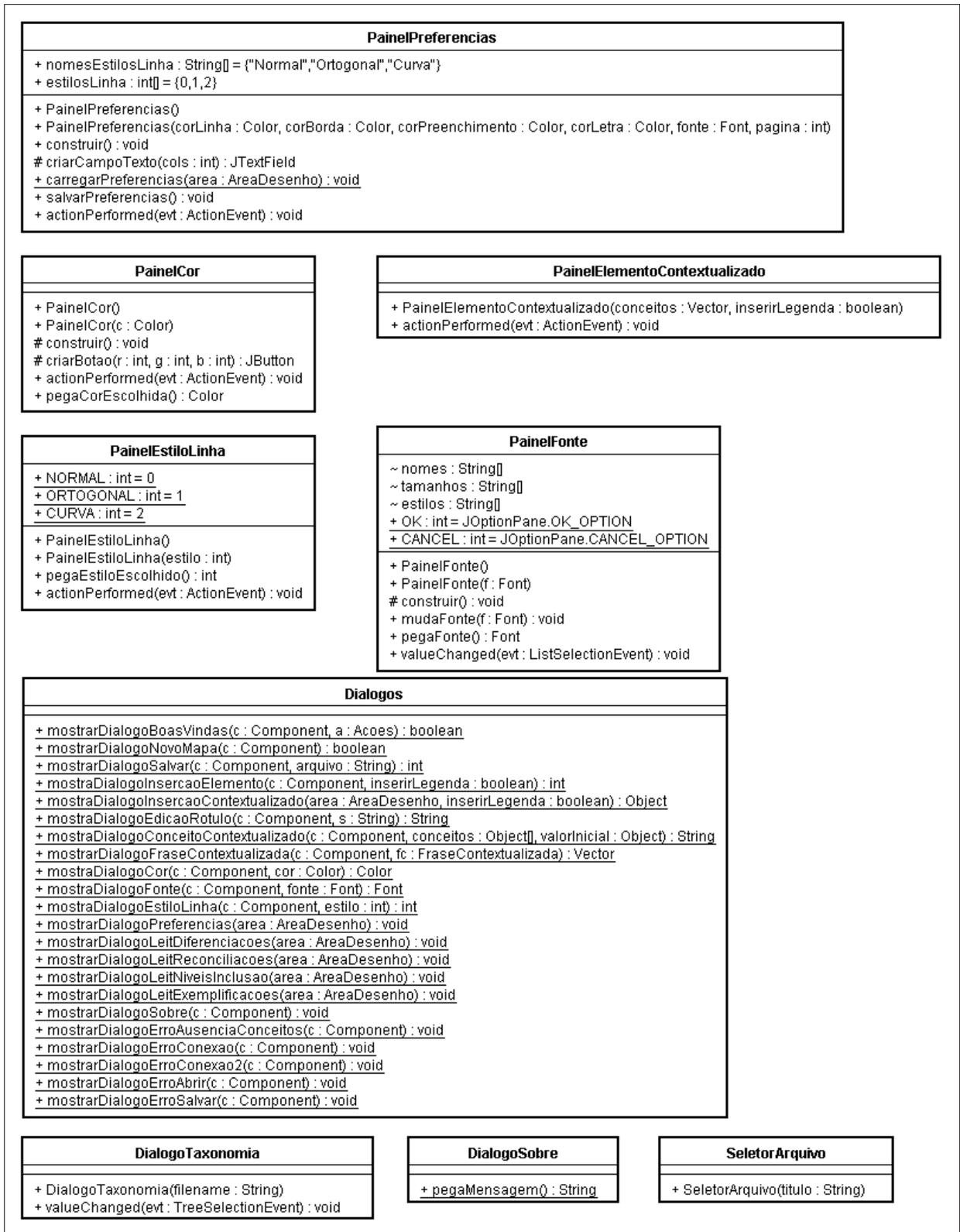


Figura C.10 – Classes do pacote cmeditor.gui.dialogo

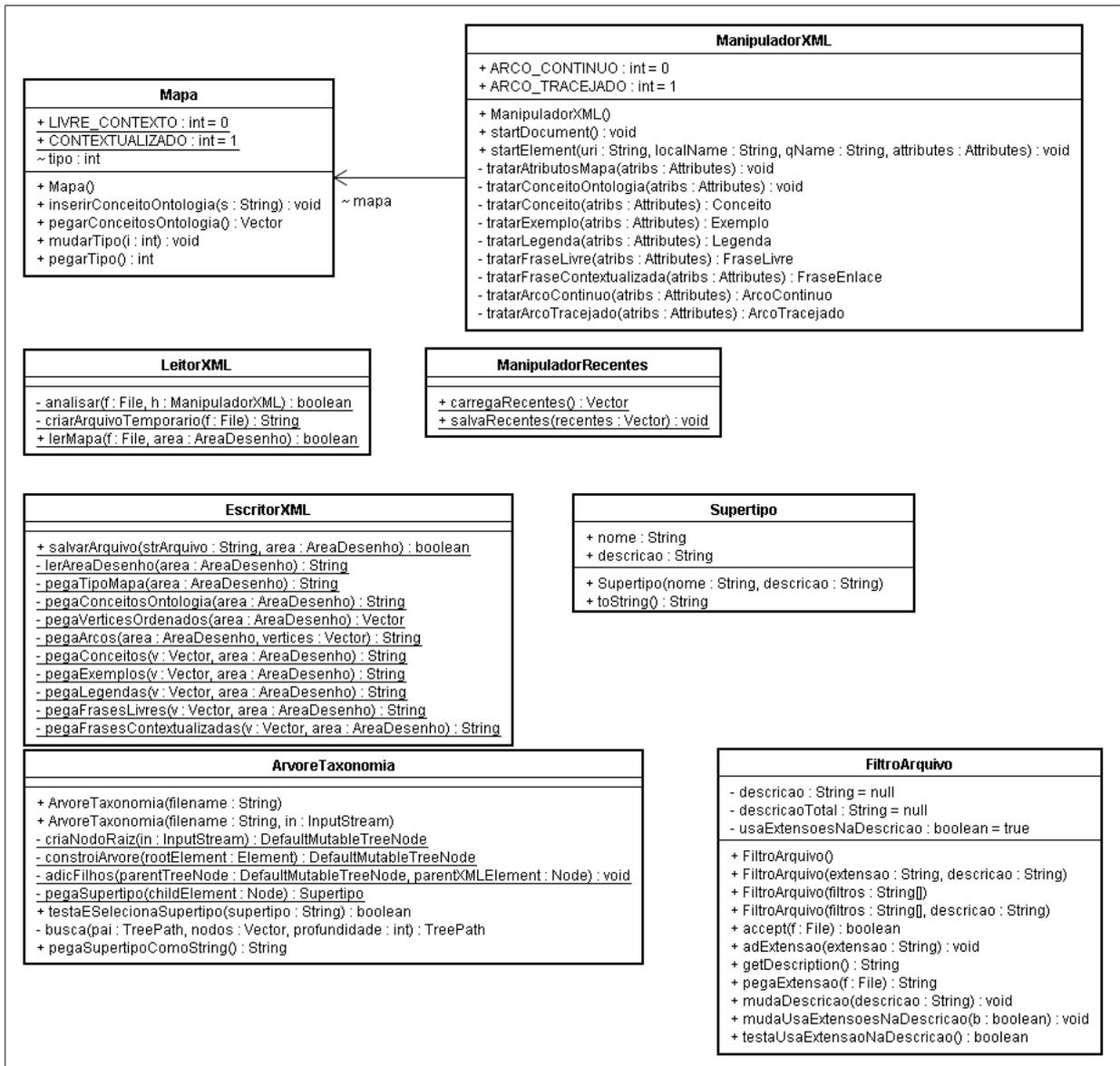


Figura C.11 – Classes do pacote cmeditor.io

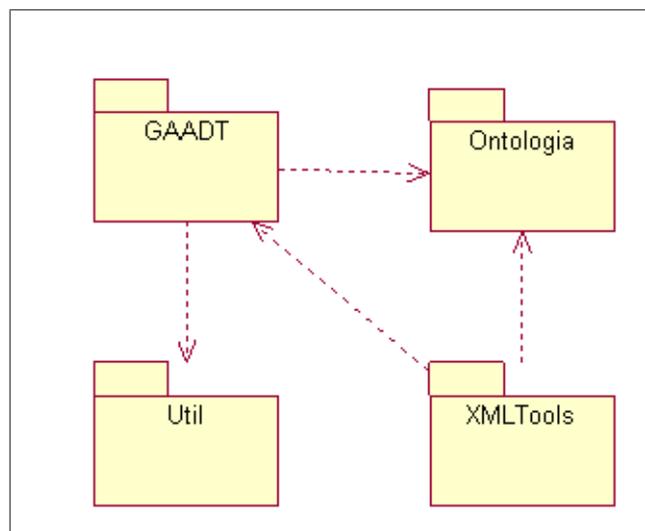


Figura C.12 – Pacotes de classes do GAADT-CM

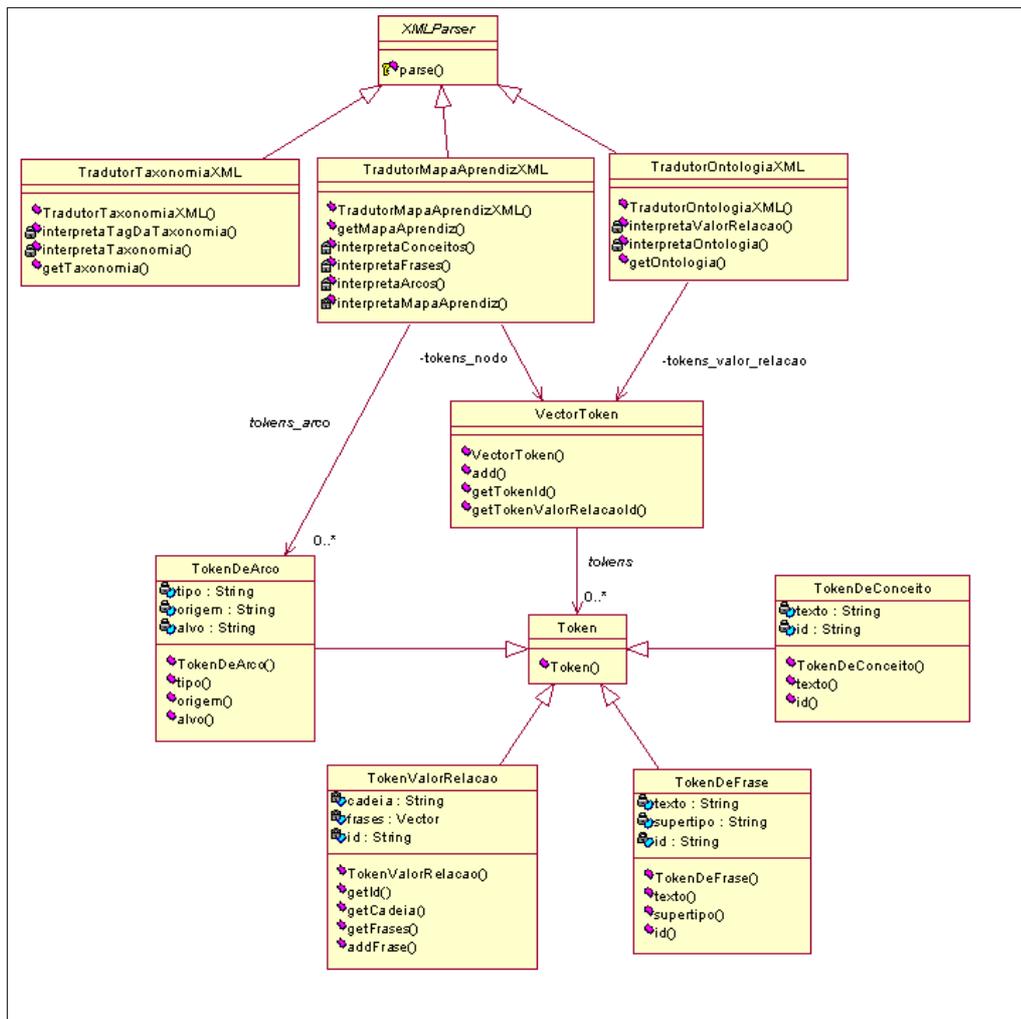


Figura C.13 – Classes do pacote XMLTools do GAADT-CM

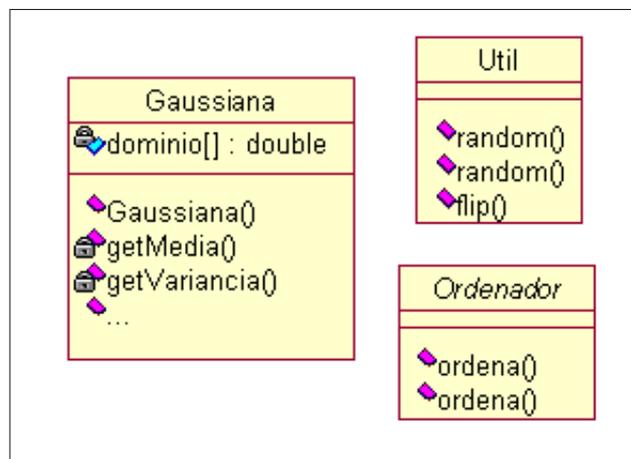


Figura C.14 – Classes do pacote Util do GAADT-CM

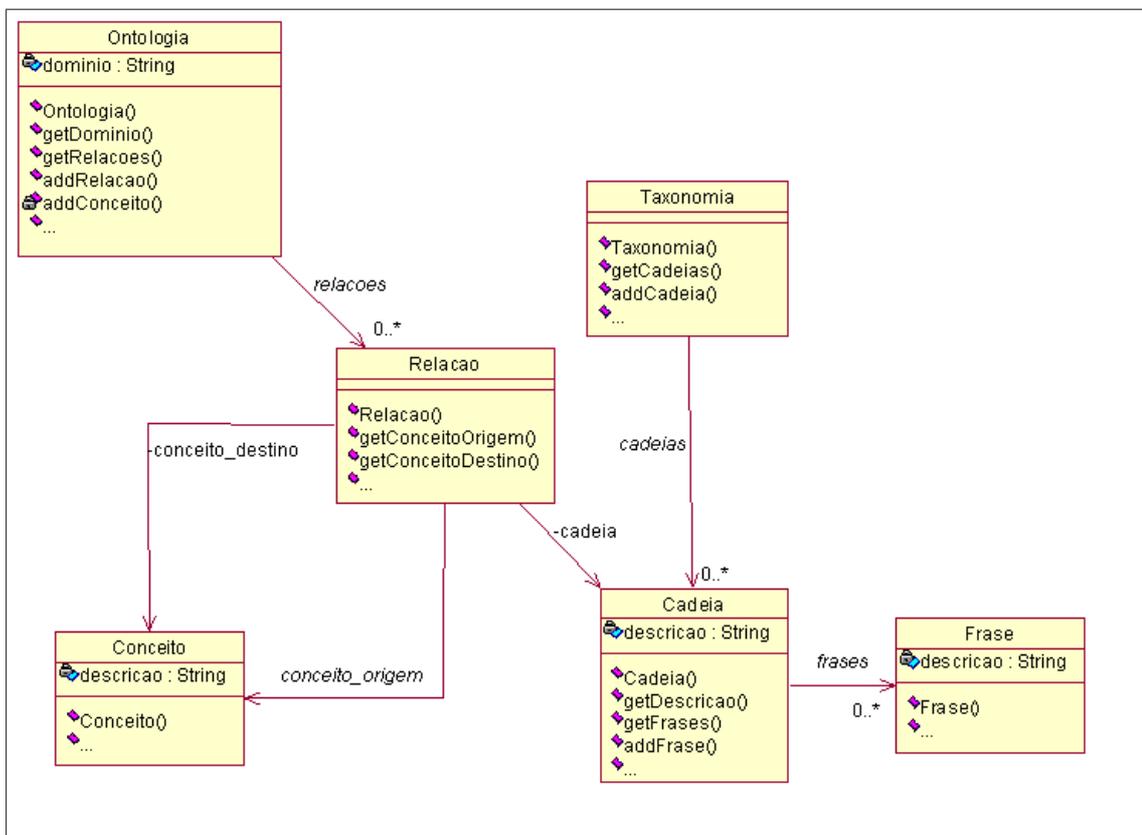


Figura C.15 – Classes do pacote Ontologia do GAADT-CM

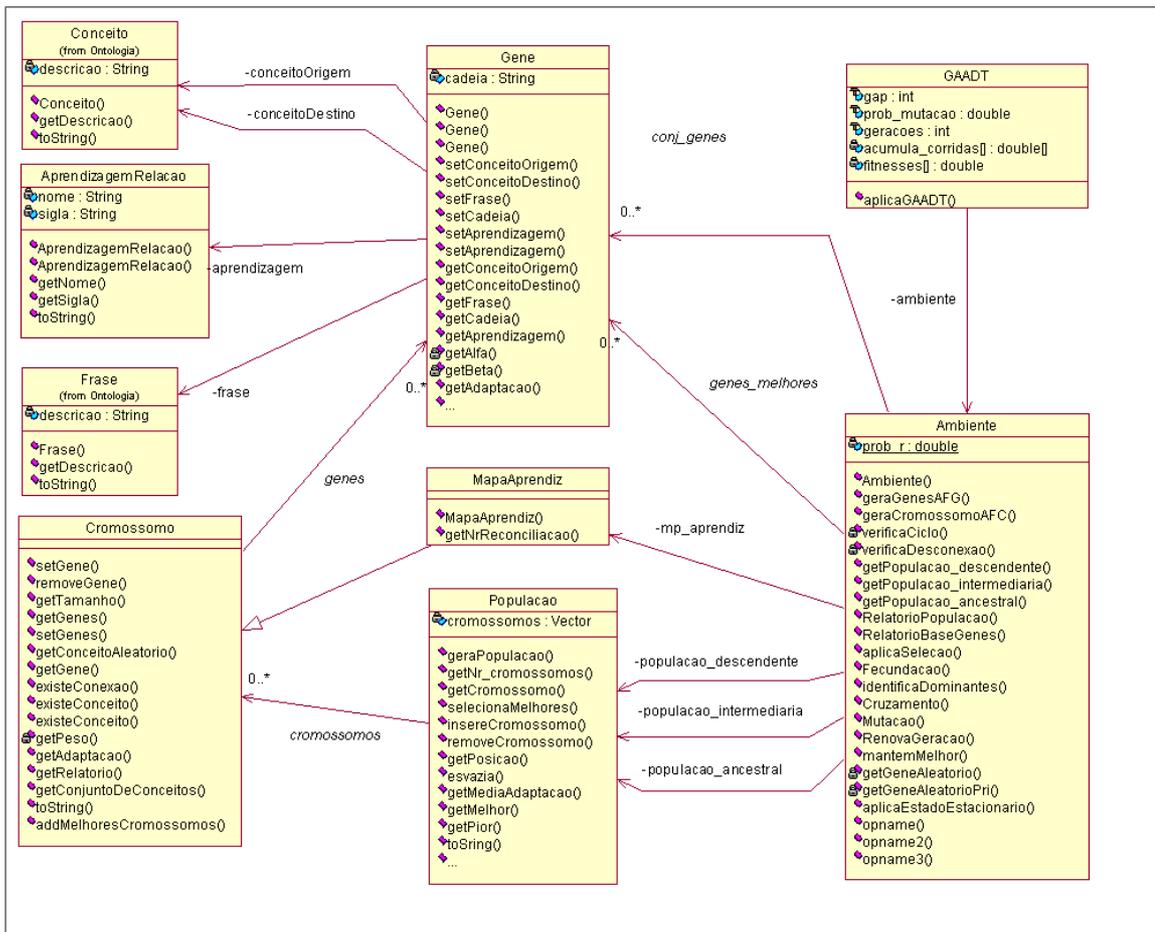


Figura C.16 – Classes do pacote GAADT do GAADT-CM

# Apêndice D

## *CMEditor* - Ajuda

### D.1 Mapas que podem ser desenhados no *CMEditor*

A Figura D.1 apresenta a tela de abertura do *CMEditor*. As opções da ferramenta estão claramente delineadas: (i) criar um MC livre de contexto; (ii) criar um MC contextualizado; e (iii) abrir um MC.



Figura D.1 – Tela de splash do *MCEditor*

**MCs não contextualizados** (ou livres de contexto) são mapas desenhados sem qualquer controle sintático ou semântico pelo ambiente, com finalidades diferentes de avaliar a aprendizagem; podem servir para projetar a escrita de artigos ou teses, representar resumos de textos, projetos de estudo de disciplinas, comunicação intragrupos. Em outras palavras, mapas não contextualizados são úteis para o desenvolvimento de tarefas importantes, mas não podem ser analisados automaticamente no ambiente *CMTool*.

**Mapas contextualizados** são desenhados no ambiente sob as seguintes restrições:

- O mapa só pode conter conceitos que estão na ontologia que é selecionada pelo usuário no início do processo de mapeamento;
- as frases de enlace são escolhidas na taxonomia do ambiente.

O objetivo destas restrições é formalizar um modelo de mapa que possa ser examinado automaticamente pelo algoritmo genético do *CMTool*. Os parágrafos que seguem descrevem o processo de construção de mapas no *CMEditor*.

Ao escolher uma das opções da tela de abertura, o *CMEditor* apresenta sua tela de desenho, como mostrado na Figura D.2.

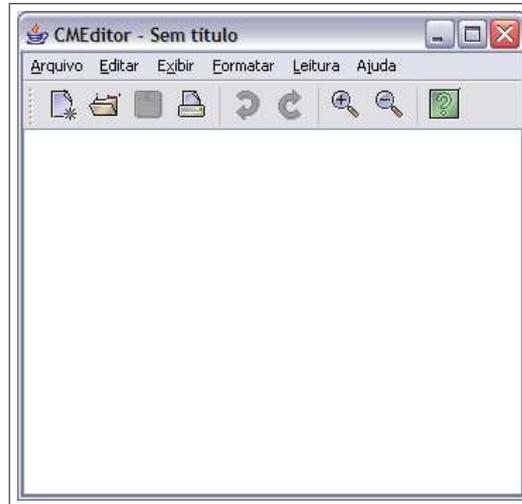


Figura D.2 – Tela de desenho do *MCEditor*

A **barra de ferramentas** é dividida em 4 seções. Cada seção contém os botões de atalho para algumas das funções presentes nos menus. A Figura D.3 apresenta os detalhes das seções. A Seção 1 contém atalhos do menu Arquivo, a Seção 2 do menu Editar, a Seção 3 do menu Exibir e a Seção 4 do menu Ajuda.

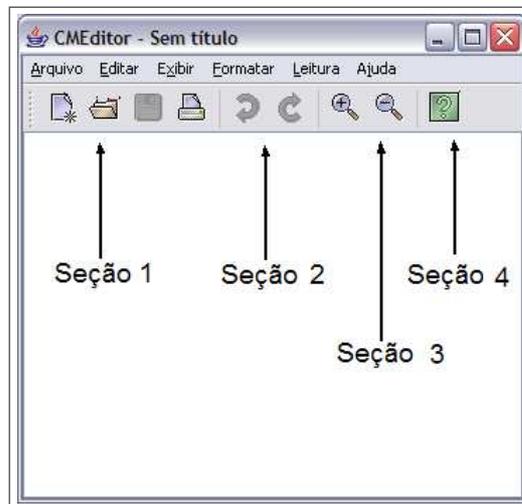


Figura D.3 – Seções da barra de menus do *MCEditor*

## D.1.1 Criando um mapa conceitual livre de contexto

### D.1.1.1 Primeira ativação

Ao abrir o *CMEditor*, aparecerá o *splashscreen* da Figura D.1. Escolhendo a opção “Desejo criar um mapa conceitual livre de contexto” o editor apresenta sua tela branca onde será desenhado o mapa (ver Figura D.2).

**Desenhando um mapa conceitual livre de contexto.** A primeira coisa a fazer é criar um conceito. Para isso, basta clicar duas vezes em um ponto da área de desenho. Surgirá o diálogo de Inserção de elemento, apresentando os tipos de objetos que podem ser inseridos num mapa conceitual:



Figura D.4 – Diálogo para Inserção de Elementos no MC

**Conceito:** Nas proposições, podem receber e enviar arcos. Possuem setas flutuantes, que são usadas para criar as proposições;

**Exemplos:** Diferentemente dos conceitos, só podem receber arcos nas proposições. Não possuem setas flutuantes;

**Legendas:** Servem para fazer anotações no mapa conceitual, que não fazem parte do mapa, mas que podem explicá-lo.

Escolhendo **Conceito** aparecerá desenhado na tela a representação gráfica de um conceito. Pode-se fazer essa operação quantas vezes for necessário.



Figura D.5 – Representação gráfica de um conceito

Para criar relacionamentos, posiciona-se o cursor do mouse sobre um conceito. Surgirão duas setas flutuantes.

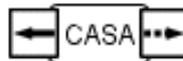


Figura D.6 – Setas flutuantes de um conceito

Cada seta corresponde a um tipo de processo cognitivo. O ícone da esquerda indica diferenciação progressiva e o ícone da direita reconciliação integrativa.

Posicionar o mouse sobre uma das setas. Clicar e segurar o botão do mouse. Arrastando a seta, surge uma linha que ajudará a desenhar.

Arrasta-se o mouse até o ponteiro ficar sobre a posição desejada para o outro elemento da proposição. Soltando o botão surgirá o diálogo de criação de elementos terminais de uma proposição (ver Figura D.8).

Se Cancelar for clicado, nenhum novo elemento será criado. Se OK for clicado, será criada uma proposição, composta de mais um conceito/exemplo, uma frase de ligação e arcos ligando os elementos, como se pode ver na Figura D.9.

Posicionando o cursor do mouse sobre uma frase de ligação, também aparecerá uma seta flutuante. Porém, apenas uma. Ela é do mesmo tipo dos arcos ligados a essa frase (ver Figura D.10).

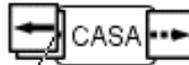


Figura D.7 – Desenhando um relacionamento



Figura D.8 – O nó terminal de uma proposição

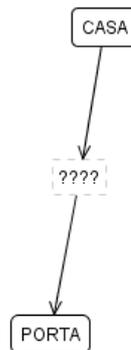


Figura D.9 – Uma proposição em formação

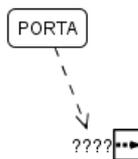


Figura D.10 – Seta flutuante de uma frase de ligação

A criação de um MC livre de contexto é feita pela repetição destes passos descritos até aqui. Uma forma eficiente de desenhar um mapa é primeiro criar todos os conceitos e, depois, desenhar as proposições.

#### D.1.1.2 Editor em execução

Se desejar criar um mapa conceitual livre de contexto com o *CMEditor* já em execução, o usuário pode seguir uma das 3 alternativas:

- a. Na barra de menus, clicar em “Arquivo” e em “Novo” em seguida;
- b. Na barra de tarefas, clicar no botão cujo ícone está representado na Figura D.11;

c. No teclado, segurar a tecla Ctrl e apertar N.



Figura D.11 – Botão *Novo* da Barra de Ferramentas

Se alguma modificação no mapa conceitual em edição tiver sido feita antes do usuário realizar uma das operações acima, surgirá o diálogo “Salvar”. Este diálogo permite salvar ou abandonar as modificações feitas (ver Figura D.12).

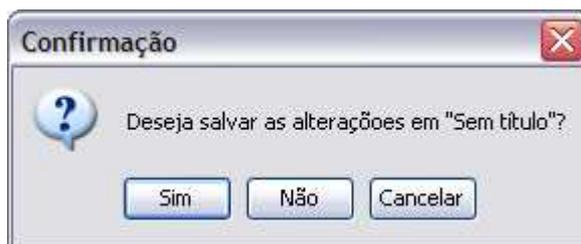


Figura D.12 – Diálogo Salvar

Após feita a operação de “Salvar”, surgirá a caixa de diálogo de “Novo mapa conceitual”. O mesmo ocorrerá se o usuário não tiver feito modificações no mapa conceitual aberto anteriormente. Nessa caixa de diálogo clica-se em “Livre de contexto”(ver Figura D.13).

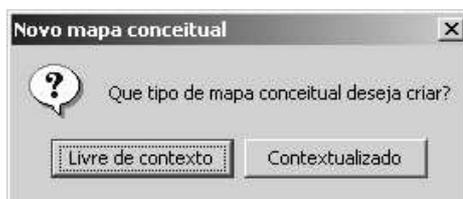


Figura D.13 – Diálogo *Novo Mapa Conceitual*

Obs.: se o usuário fechar essa caixa de diálogo sem clicar em nenhum botão, também será criado um mapa conceitual livre de contexto.

**Editando elementos de um mapa conceitual livre de contexto.** Para editar os elementos de um mapa conceitual livre de contexto usa-se o mouse, clicando duas vezes em cima do determinado elemento, excetuando os arcos (linhas).

Ao clicar duas vezes em cima de um conceito, exemplo, frase de ligação ou legenda, aparecerá a mesma caixa de diálogo usada para a criação desses elementos. Porém, diferentemente da primeira vez, o rótulo do elemento já virá preenchido. É só modificar e dar o OK ou cancelar para deixar o mesmo valor de antes.

### D.1.1.3 Mapas contextualizados

Ao dar um duplo clique num ponto da tela, o ambiente responde apresentando a lista de objetos que o usuário pode colocar no mapa, agora com uma lista de conceitos da ontologia colocada ao lado da opção conceito no menu (ver Figura D.15)

O usuário escolhe um conceito na lista, se esta for sua opção. O ambiente coloca no local clicado a representação completa de um conceito, partes gráfica e textual.

Para escolher frases de enlace, o editor apresenta ao usuário a taxonomia do ambiente e este faz sua escolha (ver Figura D.16);



Figura D.14 – Edição do rótulo de um elemento

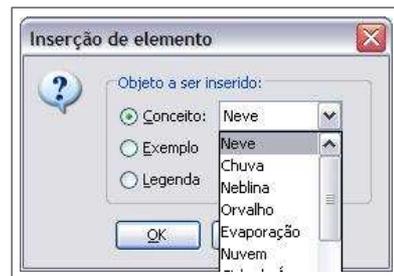


Figura D.15 – Objetos que o usuário pode colocar num mapa



Figura D.16 – Representação gráfica da taxonomia do ambiente

As Figuras D.17(a), D.17(b) e D.17(c) ilustram a sequência de passos para construção de uma proposição. A Figura D.17(b) reflete a situação imediatamente antes da consulta à taxonomia. Por questões de economia o editor mostra no somente a frase de enlace das proposições na tela (ver Figura D.17(c)), embora o usuário tenha escolhido uma cadeia taxonômica completa. Entretanto, para consultar a cadeia completa de qualquer frase de enlace é só pousar o *mouse* sobre o nó correspondente que a cadeia completa é revelada, como está mostrado na Figura

D.17(d).

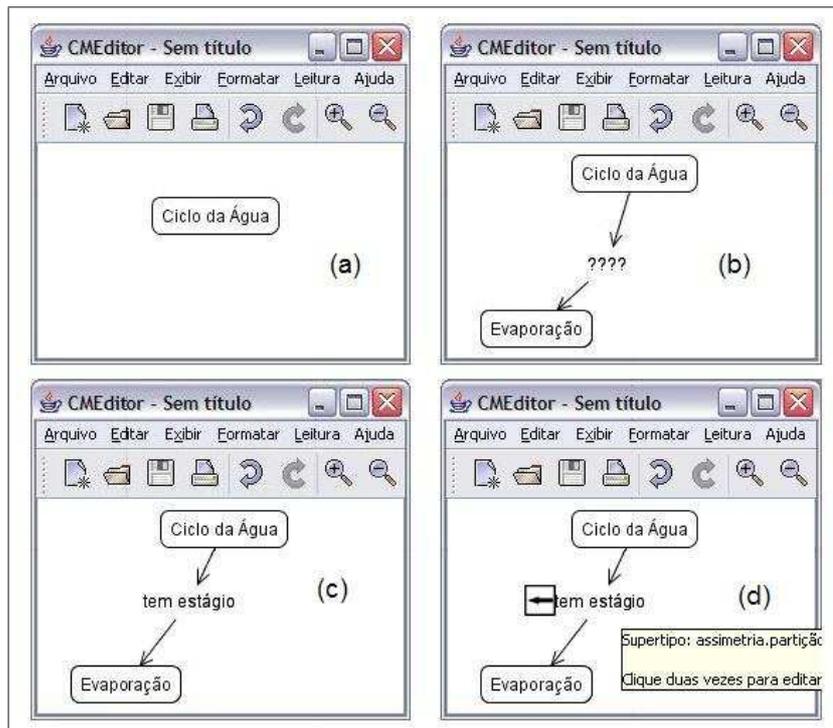


Figura D.17 – Construção de uma proposição num mapa contextualizado

Para ilustrar o processo completo de construção e armazenamento de mapas conceituais, as Figuras D.18 e D.19 mostram a representação gráfica e a contrapartida em XML, respectivamente, de um mapa contextualizado.

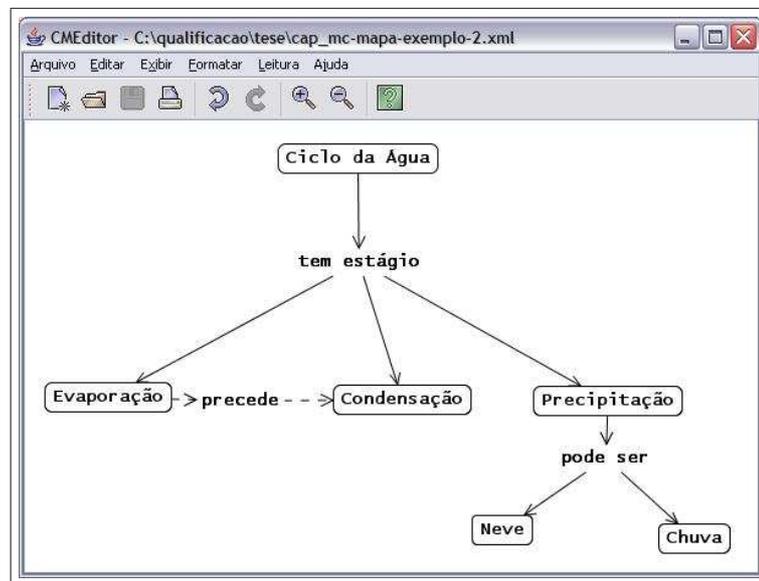


Figura D.18 – Mapa contextualizado desenhado no ambiente

As Figuras D.20 e D.21 apresentam as outras funções disponíveis nos menus Arquivo e Editar.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<!-- <!DOCTYPE mapa SYSTEM "cmeditor#lo#maps.dtd" -->
<!DOCTYPE mapa (View Source For full doctype...)
- <mapa tipomapa="1">
  <conceitoontologia texto="Nebolina" />
  <conceitoontologia texto="Orvalho" />
  <conceitoontologia texto="Nuvem" />
  <conceitoontologia texto="Geada" />
  <conceitoontologia texto="Vapor d'Água" />
  <conceitoontologia texto="Granizo" />
  <conceito id="0" texto="Evaporação" x="16.0" y="215.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Lucida Console"
    estiletra="1" tamanho="14" corletra="-16777216" />
  <conceito id="1" texto="Condensação" x="251.0" y="217.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Lucida Console"
    estiletra="1" tamanho="14" corletra="-16777216" />
  <conceito id="2" texto="Precipitação" x="414.0" y="218.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Lucida Console"
    estiletra="1" tamanho="14" corletra="-16777216" />
  <conceito id="3" texto="Chuva" x="516.0" y="331.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Lucida Console"
    estiletra="1" tamanho="14" corletra="-16777216" />
  <conceito id="4" texto="Ciclo da Água" x="206.0" y="19.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Lucida Console"
    estiletra="1" tamanho="14" corletra="-16777216" />
  <conceito id="5" texto="Neve" x="364.0" y="324.0" corborda="-16777216" corpreenchimento="-1" nomeletra="Lucida Console"
    estiletra="1" tamanho="14" corletra="-16777216" />
  <frasecontextualizada id="6" texto="pode ser" supertipo="assimetria.classificação.sentido_direto" x="433.0" y="266.0" tiposeta="0"
    nomeletra="Lucida Console" estiletra="1" tamanho="14" corletra="-16777216" />
  <frasecontextualizada id="7" texto="precede" supertipo="assimetria.temporalidade.ordenação.sentido_direto" x="139.75" y="219.0"
    tiposeta="1" nomeletra="Lucida Console" estiletra="1" tamanho="14" corletra="-16777216" />
  <frasecontextualizada id="8" texto="tem estágio" supertipo="assimetria.partição.temporalidade.sentido_direto" x="218.25" y="105.0"
    tiposeta="0" nomeletra="Lucida Console" estiletra="1" tamanho="14" corletra="-16777216" />
  <arco tipo="0" origem="8" alvo="1" corlinha="-16777216" estile="0" />
  <arco tipo="0" origem="6" alvo="3" corlinha="-16777216" estile="0" />
  <arco tipo="1" origem="7" alvo="1" corlinha="-16777216" estile="0" />
  <arco tipo="0" origem="6" alvo="5" corlinha="-16777216" estile="0" />
  <arco tipo="1" origem="0" alvo="7" corlinha="-16777216" estile="0" />
  <arco tipo="0" origem="2" alvo="6" corlinha="-16777216" estile="0" />
  <arco tipo="0" origem="8" alvo="2" corlinha="-16777216" estile="0" />
  <arco tipo="0" origem="8" alvo="0" corlinha="-16777216" estile="0" />
  <arco tipo="0" origem="4" alvo="8" corlinha="-16777216" estile="0" />
</mapa>

```

Figura D.19 – Representação em XML de um MC contextualizado



Figura D.20 – Funções disponíveis no menu Arquivo

## D.2 Outras funções do CMEditor

### D.2.1 Desfazer e Refazer Operações

Sempre que o usuário errar ou se arrepender de uma operação que fez durante o desenho de mapas, ele pode desfazer tais operações. Há 3 maneiras de desfazer uma operação:

- Clicar ícone representado na Figura D.22(a) na barra de ferramentas;

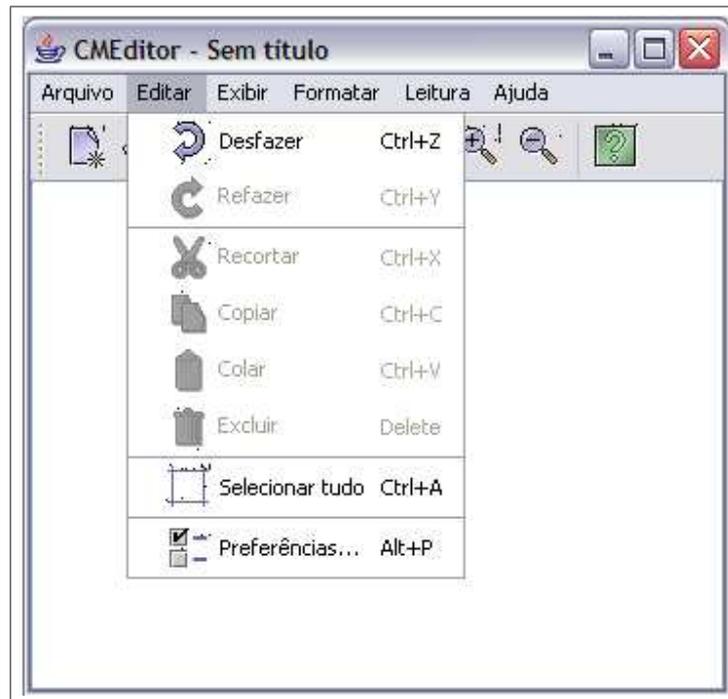


Figura D.21 – Funções disponíveis no menu Editar

- Na barra de menus, clicar em Editar e em Desfazer em seguida;
- No teclado, segurar a tecla Ctrl e teclar Z.



Figura D.22 – Atalhos para desfazer/refazer operações

Se o usuário se arrepender de desfazer uma operação, ele pode refazer tal operação. Há 3 maneiras de refazer uma operação:

- Clicar no ícone representado na Figura D.22(b) na barra de ferramentas;
- Na barra de menus, clicar em Editar e em Refazer, em seguida;
- No teclado, segurar a tecla Ctrl e teclar Y.

## D.2.2 Zoom: aproximando e afastando

. Operações de zoom fazem com que o usuário veja seu mapa conceitual mais perto ou mais longe. Também serve para escolher o tamanho da imagem que será exportada do mapa, com a função de exportação.

Para ver um mapa conceitual mais perto, ou seja, aproximar o zoom, o usuário pode proceder de 3 maneiras diferentes:

- Clicar no ícone da Figura D.23 (a) na barra de ferramentas;
- Na barra de menus, clicar em Exibir e em Aproximar em seguida;

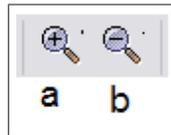


Figura D.23 – Atalhos para afastar/aproximar

- No teclado, segurar a tecla Ctrl e pressionar a tecla +, no teclado numérico.

Para ver um mapa conceitual mais longe, ou seja, afastar o zoom, o usuário pode proceder de 3 maneiras:

- Clicar no ícone da Figura D.23 (b) na barra de ferramentas;
- Na barra de menus, clicar em Exibir e em Afastar, em seguida;
- No teclado, segurar a tecla Ctrl e pressionar a tecla -, no teclado numérico.

### D.2.3 Opções de formatação

O usuário pode formatar os elementos de um mapa conceitual, escolhendo cores e tipos de letras. Ele acessa todas as opções de formatação no menu Formatar, na barra de menus. A Figura D.24 mostra as opções de formatação disponíveis.



Figura D.24 – Opções de Formatação

## D.3 Exportar um mapa conceitual como imagem

Às vezes o usuário pode querer capturar uma imagem de um mapa conceitual para inserí-la em um trabalho didático, ou publicar na Internet, por exemplo. Para isso existe a opção de exportação que permite publicar um mapa como uma imagem JPEG.

Para acessar esta opção, clica-se em Arquivo, na barra de menus. Em seguida, clica-se em “Exportar”. Surgirá uma tela de salvamento, semelhante à tela de salvar mapas.

Escolhe-se um local para salvar a imagem, digita-se um nome para ela e clica-se em Exportar. A imagem estará pronta para ser usada.

Obs.: a resolução e o tamanho da imagem dependerá do valor de zoom associado. Para detalhes sobre *zooming* ver Seção D.2.2.

## D.4 Definição de preferências

Para tornar mais eficaz trabalho de desenho de mapas, o usuário pode querer fazer com que os elementos de seus mapas conceituais tenham elementos pré-definidos, evitando mais adiante seções de edição e modificação de atributos. Para auxiliar nesta tarefa, o menu Editar disponibiliza o diálogo de **Preferências**.

Há duas maneiras de abrir o diálogo de preferências:

- Na barra de menus, clicar em Editar e, em seguida, em “Preferências”;
- No teclado, segurar a tecla Alt e teclar P.



Figura D.25 – Atributos que podem ser pre-definidos

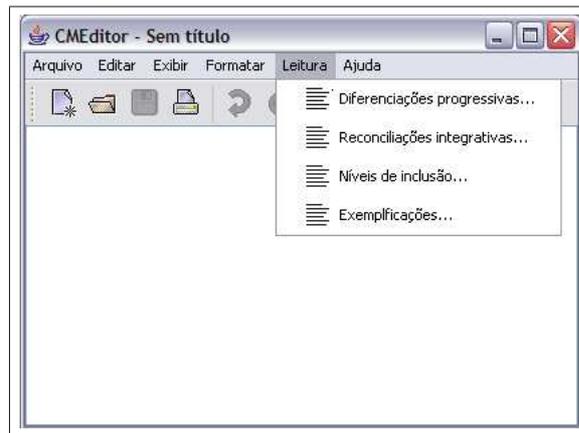
Conforme mostrado na Figura D.25, é possível pre-definir as cores padrão de: (i) linhas, (ii) bordas, (iii) preenchimento da representação gráfica de conceitos e de exemplos de conceitos, e (iv) das letras dos elementos com representação textual, além de (v) poder escolher um fonte padrão e (vi) um tamanho de página padrão para o caso de impressão de mapas.

O diálogo de preferências está na Figura D.25. Nele, aparecem as seis (6) opções. Para fazer a escolha clica-se em “Alterar”, do lado de cada opção, escolhe-se um valor e depois clica-se em OK para tornar efetiva a escolha feita.

## D.5 Leitura de mapas

Ao desenhar mapas contextualizados complexos, o usuário pode precisar de ajuda para evitar equívocos de natureza cognitiva como, por exemplo, gerar caminhos fechados usando diferenciação progressiva. Para ajudar o usuário a evitar estes erros, e outros de mesma natureza, são disponibilizadas funções de leitura de mapas no menu Leitura, conforme está mostrado na Figura D.26.

As possibilidades são:



**Figura D.26** – Leitura em mapas conceituais

- Leitura das diferenciações progressiva de um mapa: serve para identificar todas as proposições que foram construídas por diferenciação progressiva de algum conceito existente no MC;
- Leitura das reconciliações integrativas: apresenta a lista das proposições que foram construídas pelo processo de reconciliação;
- Leitura por nível de inclusão: revela eventuais ciclos no mapa, considerando somente as diferenciações progressivas;
- Leitura de exemplos: revela a capacidade do mapeador de identificar exemplos que ilustrem a estrutura abstrata de um MC.

# Referências Bibliográficas

- Airasian, P. W, Cruikshank, K. A, Mayer, R. E., Pintrich, P. R, Raths, J. & Wittrock, M. C. *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Addison Wesley Longman, Inc., New York, 2001.
- Anderson, R. C. Some reflexions on the acquisiton of knowledge. *Educational Researcher*, 13(10):5–10, 1984.
- Araújo, A. M. T., Menezes, C. S. & Cury, D. Apoio automatizado à avaliação da aprendizagem utilizando mapas conceituais. In *Anais do XIV SBIE*, pages 306–315, Rio de Janeiro,RJ, 2003.
- Araujo, A. M. T.,Menezes, C. S. & Cury, D. Um ambiente integrado para apoiar a avaliação da aprendizagem baseado em mapas conceituais. In *Anais do XIII SBIE*, pages 49–59, UNISINOS, São Leopoldo, 2002. SBC.
- Ausubel, D. P. A subsumption theory of meaningful verbal learning and retention. *Journal of General Psychology*, (66):213–224, 1962.
- Ausubel, D. P. *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*. Grune and Stratton, New York, NY, 1963.
- Ausubel, D. P. *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Rinehart and Winston, New York, NY, 1968.
- Ausubel, D. P. *The Acquisition and Retention of Knowledge*. Kluwer Academic Pub., New York, 2000.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. & Hanesian, H. *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Rinehart and Winston, 2nd edition, 1978.
- Barbetta, P. A., Reis, M. R. & Bornia, A. C. *Estatística para Cursos de Engenharia e Informática*. Editora Atlas, São Paulo, SP, 2004.
- Bard, J. B. & Rhee, S. Ontologies in biology: Design, applications and future challenges. *Nature Reviews: Genetic*, 5(3):213–222, março 2004.
- Barreto, J. M. *Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI*. Duplic Prest. Serviços, Florianópolis, SC, 2ª edition, 2001.
- Bennet, R. E. & Bejar, I. I.. Validity and automated scoring: It's not only the scoring. *Educational Measurement: Issues and Practices*, 17(4):9–17, 1998.
- Berry, M. W, Dumais, S. T. & O'Brien, G. W. Using linear algebra for intelligent information retrieval. *SIAM Rev.*, 37(4):573–595, 1995.
- Beyerbach, B. A. & Smith, J. M. Using a computerized concept map program to assess preservice teachers' thinking about effective teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10):961–971, 1990.

- Bogden, C. A. The use of concept mapping as a possible strategy of instructional design and evaluation in college genetics. Unpublished Master's thesis, Cornell University, Ithaca, NY, 1977.
- Bruner, J. *Toward a Theory of Instruction*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1996.
- Burstein, J. Automated scoring using a hybrid feature identification technique. In *Proceedings Annual Meeting Association of Computational Linguistics*, Montreal, 1998.
- Burstein, J. & Marcu, D. Toward using text summarization for essay-based feedback. In *Proc. TALN 2000 Conf.*, Lausanne, 2000.
- Chodorow, M. & Leacock, C. An unsupervised method for detecting grammatical errors. In *Proc. First Meeting of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (ANLP-NAACL-2000)*, pages 140–147, San Francisco, 2000. Morgan Kaufmann.
- Chung, B. M. The taxonomy in the republic of korea. In Anderson, L. W. & Sosniak, L. A., editor, *Bloom's taxonomy: A forty-year retrospective*, volume 93rd Year Book of the National Society for the Study of Education, pages 164–173, Chicago, 1994. University of Chicago Press.
- Corcho, O., Fernández-López, M. & Pérez, A. G. Ontoweb: Technical roadmap v1.0. disponível em: <http://www.ontoweb.org/About/Deliverables/Deliverable111.pdf>, acesso em setembro de 2004, 2004.
- Costa Jr, J. V., Rocha, F. E. L., & Favero, E. L. Linking phrases in concept maps: A study on the nature of inclusivity. In *Proceedings of First International Conference on Concept Mapping*, volume Vol.1, pages 167–174, Pamplona, Spain, September, 14-17 2004. Dirección de Publicaciones de la Universidad Publica de Navarra.
- Cunha, M. J. S. & Fernandes, C. T. Ac3as-web: Ambiente cooperativo de apoio à avaliação de aprendizagem significativa na web. In *Anais do XIII SBIE*, pages 20–30, UNISINOS, São Leopoldo, 2002. SBC.
- Deerwester, S. Indexing by latent semantic analysis. *Journal of Am. Soc. for Information Science*, 41(6): 573–595, 1990.
- Diekhoff, G. M. & Diekhoff, K. B. Cognitive map as a tool in communicating structural knowledge. *Educational Technology*, 22(4):28–30, 1982.
- Eiben, A. E. & Smith, J. E. *Introduction to Evolutionary Computing (Natural Computing Series)*. Springer-Verlag, Los Angeles, CA, 2003.
- Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H. & Krathwohl, D. R. . *Taxonomy of educational objectives: Handbook I: Cognitive Domain*. David McKay, New York, 1956.
- Fellbaum, C. *WordNet An Electronic Lexical Database (Language, Speech, and Communication)*. Bradford Books, London, 1998.
- Fernandes, C., Cunha, M., Omar, N., Silva, V. Avaliação da aprendizagem significativa usando mapas conceituais num ambiente cooperativo. In *Anais do XIV SBIE*, pages 110–119, UFAM, Manaus, 2004. SBC.
- Fischer, S. Course and exercise sequencing using metadata in adaptive hypermedia learning systems. *ACM Journal of Educational Resources in Computing*, 1(1), 2001.
- Fisher, K. M. Relations used in student-generated knowledge representations. In *Symposium on Student Understanding in Science: Issues of Cognition and Curriculum*, New Orleans, April 1988. American Educational Research Association.

- Fisher, K. M. Semantic networkin: The new kid on the block. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10):1001–1019, 1990.
- Fisher, K. M. *Cognitive Tools for Learning*, chapter SemNet: A Tool for Personal Knowledge Construction. Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- Foltz, P. W., Kintsch, W. & Landauer, T. K. The measurement of textual coherence with latent semantic analysis. *Discourse Processes*, 25(2-3):285–308, 1998.
- Gardner, H. *Estruturas da Mente: A Teoria das Inteligências Múltiplas*. Artmed Editora, Porto Alegre, RS, 2ª reimpressão edition, 2002.
- Gersting, J. L. *Fundamentos Matemáticos para a Ciência da Computação*. LTC Editora, Rio de Janeiro, RJ, 5a. edition, 2004.
- Goldberg, D. E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison Wesley Longman, Inc., 1989.
- Goldsmith, T. E., Johnson, P. J. & Acton, W. H. Assessing structurqal knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 83(1):88–96, 1991.
- Guarino, N. Understanding, building and using ontologies. *IJHCS*, 46(2/3):293–310, 1997.
- Harb, M. P. A., Brito, S. R., Silva, A. S., Favero, E. L., Tavares, O. L. & Francês, C. R. L. AmAm: ambiente de aprendizagem multiparadigmático. In NCE-IM-UFRJ, editor, *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 223–232, Rio de Janeiro, 2003.
- Haykin, S. *Redes Neurais: Princípios e Prática*. Editora Bookman, Porto Alegre, 2001.
- Hirschman, L., Breck, E., Light, M., Burger, J. D. & Ferro, L. Automated grading of short-answer tests. *IEEE Intelligent Systems*, pages 31–35, setembro/outubro 2000.
- Holland, J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. The MIT Press, Cambridge, MA, 1992.
- Isotani, S. & Brandão, L. O. Ferramenta de Avaliação Automática no IGeom. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 328–337, Manaus, 2004.
- Jacobson, I., Booch, G. & Rumbaugh, J. *UML Guia do Usuário*. Ediora Campus, Rio de Janeiro, RJ, 2000.
- Jonassen, D. H. *Computers in the Clssroom: MindTools for Critical Thinking*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1996.
- Krathwohl, D. R. Reflexions on the taxonomy: Its past, present and future. In Anderson, L. W. & Sosniak, L. A., editor, *Bloom's taxonomy: A forty-year retrospective*, volume 93rd Year Book of the National Society for the Study of Education, pages 181–204, Chicago, 1994. University of Chicago Press.
- Kukich, K. The debate on automated essay grading. *IEEE Intelligent Systems*, pages 22–27, setembro/outubro 2000.
- Laham, D. *Automated Content Assesement of Text Using Latent Semantic Analysis to Simlate Human Cognition*. Phd dissertation, University of Colorado, Boulder, 2000.
- Landauer, T. & Dumais, S. A solution to plato's problem: The latent semantic analysis theory of acquisition, induction, and representation of knowledge. *Psychological Review*, 104:211–240, 1997.

- Landauer, T. K., Foltz, P. W. & Laham, D. An introduction to latent semantica analysis. *Discourse Processes*, 25(2-3):337–354, 1998.
- Landauer, T. K., Laham, D. & Foltz, P. W. The intelligent essay assessor. *IEEE Intelligent Systems*, pages 27–31, setembro/outubro 2000.
- Laycock, H. *Words without Objects: Semantics, Ontology, and Logic fo Non-Singularity*. Oxford University Press, New York, 2006.
- Lewy, A. & Bathory, Z. The taxonomy of educational objectives in continental europe, the mediterranean, and the middle east. In Anderson, L. W. & Sosniak, L. A., editor, *Bloom's taxonomy: A forty-year retrospective*, volume 93rd Year Book of the National Society for the Study of Education, pages 146–163, Chicago, 1994. University of Chicago Press.
- Lima, P. S. R. *Um Ambiente Colaborativo de Aprendizagem Interdisciplinar Apoiado por Interfaces Adaptativas*. cccc, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2006.
- Limão, R. Algoritmos Genéticos. Notas de aula, 2004.
- Lopes, R. V. V. *Uma Teoria para Algoritmos Genéticos e sua Especificação em CSP-Z*. PhD thesis, UFPE, Recife, PE, 2003.
- MacDonald, N. The writer's workbench: Computer aids for text analysis. *IEEE Trans. Comm.*, 30(1): 105–110, 1982.
- Machado, A. L. , Almeida, F. A., Germano, J. S. E. PHYSI-ASSESSMENT-Uma Proposta de Ferramenta Automatizada para Avaliação a Distância com o Uso de Expressões Matemáticas. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 132–141, Manaus, 2004.
- McAleese, R., Grabinger, S. & Fisher, K. M. The knowledge arena: A learning environment that underpins concept mapping. In *Annual Meeting of American Educational Research Association*, Montreal,, abril 1999.
- Miller, G. A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63:81–97, 1956.
- Miltsakaki, E. & Kukich, K. Automated evaluation of coherence in student essays. In *Proc. LREC-2000, Linguistic Resources in Education Conference*, Athens, 2000.
- Moreira, M. A. *Aprendizagem Significativa*. UnB - Editora, Brasilia, 1999a.
- Moreira, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. E.P.U, São Paulo, 1999b.
- Moreira, M. A. & Buchweitz, B. *Mapas Conceituais: Instrumentos Didáticos, de Avaliação e Análise de Currículo*. Editora Moraes, São Paulo, SP, 1st edition, 1987.
- Morrison, G., Ross, S. & Kemp, J. *Designing Effective Instruction*. John Wiley and Sons, Inc., New York, 3a. edition, 2001.
- Multibook(2004). The multibook project. <http://www.multibook.de>, 2004.
- Neches, R., Fikes, R., Finin, T., Gruber, T., Patil, R., Senator, T., & Swartout, W. R. Enabling Technology For Knowledge Sharing. *AI Magazine*, 12(3):36–56, 1991.
- Novak, J. D. Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10):937–949, 1990.

- Novak, J. D. *Learning, Creating and Using Knowledge: Conceptual Maps as Facilitative Tools in Schools and Corporations*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., New Jersey, 1998a.
- Novak, J. D. *Teaching Science for Understanding*, chapter The Pursuit of a Dream: Education Can Be Improved, pages 3–28. Academic Press, San Francisco, CA, 1998b.
- Novak, J. D. The theory underlying concept maps and how to construct them. disponível em <http://cmap.coginst.uwf.edu/info/printer.html>, acesso em novembro, 2002 2002.
- Novak, J. D. & Gowin, D. B. *Learning how to Learn*. Cambridge University Press, London, 1984.
- Novak, J. D. & Gowin, D. B. *Aprender a Aprender*. Plátano, Edições Técnicas, Lisboa, 2a. edition, 1999.
- Novak, J. D., Gowin, D. B & Johansen, G. T. The use of concept mapping and knowledge vee mapping with junior high school students. *Science Education*, 67(5):625–645, 1983.
- O’Leary, D. E. Using AI in Knowledge Management: Knowledge Bases and Ontologies. *IEEE Intelligent Systems*, 13(3):34–39, maio/junho 1998.
- Pacheco, M. A. C. Algoritmos Genéticos: Princípios e Aplicações. disponível em [www.ICA.ele.puc-rio.br/cursos/download/MQ-intro\\_apost.pdf](http://www.ICA.ele.puc-rio.br/cursos/download/MQ-intro_apost.pdf) acesso em abril 2007, 2007.
- Page, E. B. The use of computer in analyzing student essays. *Int’l Rev. Education*, 14:210–225, 1968.
- Peña, A. O., Rubio, A. M. & Sánchez, A. L. *Los Mapas Conceptuales en el Aula*. Editorial Magisterio del Río de la Plata, Buenos Aires, 1996.
- Pimentel, E. P. & Omar, N. Métricas para o Mapeamento do Conhecimento do Aprendiz em Ambientes Computacionais de Aprendizagem. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 200–209, Brasília, 2006.
- Postlethwaite, T. N. Validity vs utility: Personal experience with the taxonomy. In Anderson, L. W. & Sosniak, L. A., editor, *Bloom’s taxonomy: A forty-year retrospective*, volume 93rd Year Book of the National Society for the Study of Education, pages 181–204, Chicago, 1994. University of Chicago Press.
- Readence, J. E., Bean, T. W. & Baldwin, R. S. *Content Area Reading: An integrated approach*. Hunt Publishing, Dubuque, IA, 1985.
- Rehder, B. Using latent semantic analysis to assess knowledge: Some technical considerations. *Discourse Processes*, 25(2-3):337–354, 1998.
- Rocha, F. E. L. & Favero, E. L. Cmtool: A supporting tool for conceptual map analysis. In *Proceedings of World Congress on Engineering and Technology Education, WCETE 2004*, pages 507–511, Guarujá/Santos, SP, Brazil, March 2004. Council of Researches in Education and Sciences, COPEC.
- Rocha, F. E. L, Costa Júnior, J. V., Favero, E. L. Como usar ontologias na avaliação da aprendizagem significativa mediada por mapas conceituais. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 13(2): 53–64, 2005.
- Rocha, F. E. L., Vieira, R. V., Costa Jr, J. V. & Favero, E. L. Especificação de um Algoritmo Genético para Auxiliar na Avaliação da Aprendizagem Significativa com Mapas Conceituais. In *XV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE2004: Anais*, pages 139–148, Manaus, AM, Novembro 2004a.

- Ruiz-Primo, M. & Shavelson, R. Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6):569–600, 1996.
- Ruiz-Primo, M. A. Examining concept maps as assessment tool. In Cañas, A. J., Novak, J. D., González, F. M., editor, *Proceedings of the First Int. Conference on Concept Mapping*, volume 1, pages 555–562, Pamplona, Spain, September 2004. Universidade Pública de Navarra, Dirección de Publicaciones de la Universidade Pública de Navarra.
- Ruiz-Primo, M. A., Schultz, E. S. & Shavelson, R. J. Concept map-based assessments in science: An exploratory study. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, New York, NY, 1996.
- Ruiz-Primo, M. A., Schultz, E. S., Li, M. & Shavelson, R. J. Comparison of the reliability and validity of scores from two concept-mapping techniques. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(2): 260–278, 2001.
- Santos Junior, P. S., Cury, D., Menezes, C. & Nevado, R. A. Um ambiente para acompanhamento da aprendizagem baseado em mapas conceituais. In *Anais do XV SBIE*, pages 466–476, UFJF, Juiz de Fora, 2005. SBC.
- Schwefel, H. P. Collective phenomena in evolutionary research. In *31 st Annual Meeting of the International Society for General Systems Research*, volume v.2, pages 1025–1033, Budapest, 1987.
- Seixas, L. J., Flores, C. D., Gluz, J. C. & Vicari, R. M. Acompanhamento do processo de construção do conhecimento por meio de um agente probabilístico. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 170–179, Manaus, 2004.
- Shane, H. G. Significant writings that have influenced the curriculum: 1906-1981. *Phi Delta Kappan*, 63:311–314, 1981.
- Shrock, S. & Coscarelli, W. *Criterion Referenced Test Development*. Interntl. Society for Performance Improvement, Washington, DC, 2000.
- Silva, T. R. A., Costa Júnior, J. V., Rocha, F. E. L. Alguns requisitos de interação humano-computador para um editor de mapas conceituais. In *Anais do XIX SEP/III CTIC*, pages 23–34, Belém, PA, 2005.
- Silva, T. R. A.. Remodelagem da Interação Humano-Computador de um Ambiente de Avaliação de Mapas Conceituais. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pará - Curso de Bacharelado em Ciência da Computação - Biblioteca Mário Serra, 2006.
- Trowbridge, J. E. & Wandersee, J. H. How do graphics presented during college biology lessons affect students' learning? a concept map analysis. *Journal of College Science Teaching*, 26(1):54–57, 1996.
- Trowbridge, J. E. & Wandersee, J. H. *Teaching Science for Understanding: A Human Constructivist View*, chapter Theory-Driven Graphic Organizers, pages 95–131. Academic Press, San Diego, Ca, 1998.
- Tsveter, D. R. *The Pattern Recognition Basis of Artificial Intelligence*. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 1998.
- Wolfe, M. B. Learning from text: Matching readers and text by latent semantic analysis. *Discourse Processes*, 25(2-3):309–336, 1998.
- Wordnet. Wordnet: a lexical database for the english language. Disponível em <http://wordnet.princeton.edu/>, acessado em 08/03/2007.

- Yudelson, M. V., Yen, I., Pantaleev, E. & Khan, L. A framework for an intelligent on-line education system. In *Proceedings of American Society for Engineering Education Annual Conference*, 2003.
- Zabala, A. *A Prática Educativa: Como ensinar*. Artmed, Porto Alegre, RS, 1998.
- Zeilik, M., Schau, C., Mattern, N., Hall, S., Teague, K. & Bisard, W. Conceptual astronomy: A novel model for teaching postsecondary science courses. *American Journal of Physics*, 65(10):987–996, 1997.
- Protegé. Protegé 3.1: an ontology editor. Disponível em <http://www.smi.stanford.edu/projects/protege>, acessado em 08/03/2007, 2007.
- W3C. Owl: Web ontology language. Disponível em <http://www.w3.org>, acessado em 08/03/2007, 2007.