

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA - CCEN
PROGRAMA MULTIDISCIPLINAR DE PÓS-GRADUAÇÃO DO
MESTRADO EM MODELAGEM COMPUTACIONAL DE
CONHECIMENTO - PMPGMMCC**

**UM MODELO HÍBRIDO BASEADO EM ONTOLOGIAS
E RBC PARA A CONCEPÇÃO DE UM AMBIENTE DE
DESCOBERTA QUE PROPORCIONE A APRENDIZAGEM
DE CONCEITOS NA FORMAÇÃO DE TEORIAS POR
INTERMÉDIO DA METÁFORA DE CONTOS INFANTIS**

AGNALDO CAVALCANTE DE ALBUQUERQUE PESSÔA NETO

Maceió

2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA - CCEN
PROGRAMA MULTIDISCIPLINAR DE PÓS-GRADUAÇÃO DO
MESTRADO EM MODELAGEM COMPUTACIONAL DE
CONHECIMENTO - PMPGMMCC

UM MODELO HÍBRIDO BASEADO EM ONTOLOGIAS
RBC PARA A CONCEPÇÃO DE UM AMBIENTE DE
DESCOBERTA QUE PROPORCIONE A APRENDIZAGEM
DE CONCEITOS NA FORMAÇÃO DE TEORIAS POR
INTERMÉDIO DA METÁFORA DE CONTOS INFANTIS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Modelagem Computacional de Conhecimento.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Paraguaçu Duarte da Costa.

Maceió
2006

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

P475u Pessoa Neto, Agnaldo Cavalcante de Albuquerque.
Um modelo híbrido baseado em ontologias e RBC para a concepção de um ambiente de descoberta que proporcione a aprendizagem de conceitos na formação de teorias por intermédio da metáfora de contos infantis / Agnaldo Cavalcante de Albuquerque Pessoa Neto. – Maceió, 2006.
221 f. : il.

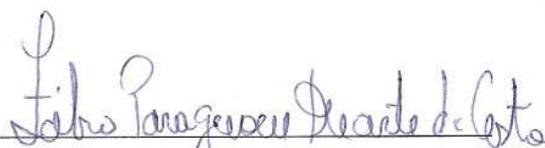
Orientador: Fábio Paraguaçu Duarte da Costa.
Dissertação (mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Computação. Maceió, 2006.

Bibliografia: f. 212-221.
Anexos: f. 167-211.

1. Aprendizagem por descoberta. 2. Ciência. 3. Ontologia. 4. RBC. 5. XML
6. Teoria científica. 7. Raciocínio científico. I. Título.

CDU: 004.855.6

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Modelagem Computacional de Conhecimento pelo Programa Multidisciplinar de Pós-Graduação em Modelagem Computacional de Conhecimento, da Universidade Federal de Alagoas, aprovada pela comissão examinadora que abaixo assina:



Prof. Dr. Fábio Paraguaçu Duarte da Costa

UFAL – Instituto de Computação

Orientador



Prof. Dr. Arturo Hernández-Domínguez

UFAL – Instituto de Computação

Examinador



Prof. Dr. Edison Fernalda

UCB – Centro de Ciência e Tecnologia

Examinador

Maceió, dezembro de 2006.

Dedicatória

Aos meus Pais, Abelardo e Petrócia, a minha Tia Lumenita, a minha Esposa Raquel e ao meu amado Filho Gabriel: A minha eterna gratidão, pela consideração, amor, e carinho.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Alagoas e aos amigos professores do Curso de Graduação em Ciência da Computação, como também do Mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento, por mais esta etapa de estudo ao qual me propus a realizar;

Agradeço principalmente ao professor Olival pelo incentivo que sempre me deu quando fui aluno da graduação desta universidade, e ao qual tive o privilégio de ser seu orientando neste referido curso;

Ao orientador e amigo, professor Fábio Paraguaçu, pela paciência e compreensão quanto ao prazo que me foi necessário para a finalização dessa etapa de conclusão de curso, como também pelas diversas sugestões para a elaboração deste trabalho;

Aos diversos amigos que me apoiaram ao longo de minha trajetória como aluno desta pós-graduação;

Ao meu amado filho Gabriel que, apesar da pouca idade, tem uma maneira toda especial e carismática de trazer sempre luz e paz em meu coração;

A minha esposa Raquel, onde juntos dividimos as nossas virtudes e diferenças pela busca eterna da felicidade e do amor necessário para construirmos uma vida melhor;

A minha tia Lenita e aos meus pais Abelardo e Petrúcia, pelo exemplo de amor e de carinho, que me ajudaram a expressar quem eu sou;

E por último, agradeço aos meus amigos de luz e a Deus que me amparam sempre nas horas difíceis de minha vida.

RESUMO

O presente trabalho apresenta *um modelo de aprendizagem por descoberta* no âmbito de realização de um *ambiente de descoberta* (PARAGUAÇU, 1997) para proporcionar a alunos aprendizes em ciência, o entendimento de como os conceitos que são utilizados na formação de teorias científicas estão relacionados.

O assunto é abordado com a suposição de que é possível formular teorias científicas em modelos científicos (FRIGG; HARTMANN, 2006; RUDNER, 1969), e que estes modelos podem ser disponibilizados para proporcionar tal aprendizagem.

Porém, com a disponibilidade de tais modelos, em vez de introduzir termos científicos relacionados a alguma disciplina científica, pretende-se para tal realização utilizar a metáfora de contos infantis, ou seja, utilizar um vocabulário de termos onde o aprendiz possa entender intuitivamente como é elaborada uma teoria científica.

Por outro lado, para proporcionar a formalização deste modelo científico, foi adotada a idéia proposta pela arquitetura MIDES (PARAGUAÇU et al., 2003), ou seja, a realização de um modelo científico com uma representação em XML (W3SCHOOLS, 2005b), em quatro visões de conhecimento: hierárquica, relacional, causal e de questionamento.

Sendo assim, pretende-se no decorrer deste trabalho mostrar como é realizada esta formalização em XML e, para isso, é necessário revisar os seguintes assuntos: ambientes de aprendizagem; ontologias; ensino baseado em casos; e alguns aspectos gerais sobre a elaboração de uma teoria científica e sobre a formulação de uma teoria como um sistema axiomático, como também apresentar as idéias para a elaboração de modelos de aprendizagem por descoberta.

Feita esta revisão, tem-se o embasamento necessário para propor uma arquitetura que possa integrar duas aplicações por intermédio deste modelo XML, ou seja, a primeira aplicação serve para uma comunidade de professores que elaboram teorias em modelos científicos, utilizando a metáfora de contos, e a segunda, para alunos que desejam aprender como é realizada a formação de uma teoria, por intermédio dos modelos que foram disponibilizados pela comunidade de professores.

Palavras-chave: Ciência, Ontologia, RBC, XML, Teoria Científica, Aprendizagem por Descoberta, Raciocínio Científico.

ABSTRACT

The actual work shows a *model of discovery learning* in order to realize a *discovery environment* (PARAGUAÇU, 1997) to demonstrate to the apprentice students in science, the understanding of how the concepts that are used in the creation of scientific theories are related.

The subject is reached with the idea that is possible to create scientific theories in scientific models (FRIGG; HARTMANN, 2006; RUDNER, 1969), and that these models can be used to help in such learning.

However, with the availability of such models, instead of introducing scientific terms related to some scientific topics, it intends to use the metaphor of Fairy Tales, what means, the vocabulary use of terms where the apprentice can understand by intuition on how a scientific theory is elaborated.

On the other hand, in order to create and formalize this scientific model it was created the idea that was proposed by MIDES Architecture MIDES (PARAGUAÇU et al., 2003), which means the creation of a scientific model with the representation in XML (W3SCHOOLS, 2005b) in four views of knowledge: Hierarchy, Relational, Causal, and by Asking.

So, the idea of this work is to show how the creation in XML is made, and to do so, it's necessary to make a review of the following subjects: learning environments; teaching based on cases; and some general aspects of a creation of a scientific theory, and about the creation of a theory like an axiomatic system, as well as to present the ideas for the elaboration of discovery learning models.

When this review is done, we have the necessary knowledge to propose an architecture able to integrate two applications by the use of XML, that is, the first application is to a teacher's community that elaborate theories in scientific models using the metaphor of the Fairy Tales, and the second one, for students that desire to learn how the creation of a theory is made, by the use of models that were introduced by the teacher's community.

Keywords: Science, Ontology, CBR, XML, Scientific Theory, Discovery Learning, Scientific Reasoning

SUMÁRIO

Resumo	(i)
Abstract	(ii)
Lista de Figuras	(viii)
Lista de Tabelas	(xii)
I FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	(xiii)
1 Introdução	14
1.1 Objetivos da Dissertação	14
1.2 Contextualização	15
1.3 Estrutura da Dissertação	16
2 Evolução dos Ambientes de Aprendizagem Mediados por Computador	18
2.1 Introdução	18
2.2 Ambientes Tradicionais de Aprendizagem por Computador	18
2.2.1 Arquitetura Básica	20
2.2.2 Limitações	21
2.3 Ambientes Interativos de Aprendizagem por Computador	21
2.3.1 Tutores Inteligentes	21
2.3.1.1 Arquitetura Tradicional	22
2.3.1.2 Limitações dos Sistemas Tutores Inteligentes	23
2.3.2 Ambientes de Descoberta	23

2.3.2.1	Arquitetura de um AIAC de Descoberta	24
2.3.2.2	Funcionamento e Limitações de um AIAC de Descoberta	24
2.3.2.3	A Pesquisa Recente em Ambientes de Descoberta	25
2.3.2.4	O Contexto de Descoberta para o Questionamento Científico	25
2.3.2.5	Exemplos de Ambientes de Descoberta	27
2.4	Conclusão	28
3	Ontologias e o Ensino Baseado em Casos	29
3.1	Introdução	29
3.2	Evolução do Conceito de Ontologias	29
3.2.1	Ontologia: Surgimento e Definições	31
3.2.2	Formalismos de Representação de Ontologias	34
3.2.3	Tipos de Ontologias	36
3.2.4	As Diversas Aplicações de Ontologias e seu uso na Educação	37
3.3	Raciocínio Baseado em Casos	39
3.3.1	Origem e Funcionamento do Raciocínio Baseado em Casos	39
3.3.2	Importância de Casos na Educação	41
3.3.3	História como Analogia para a Educação por Casos	42
3.3.3.1	Os Vários Contextos de Narrações de Histórias	42
3.3.3.2	O Ensino Baseado em Casos	43
3.4	Casos e Ontologias como Mecanismo de Suporte para Ajudar no Raciocínio Científico	44
3.4.1	O uso de Casos no Raciocínio Científico	44
3.4.2	Aprendizagem do Raciocínio Científico com o uso de Ontologias	45
3.5	Conclusão	47
4	Os Pressupostos para Formação de Teorias e Descoberta em Ciência	49
4.1	Introdução	49
4.2	O Universo da Ciência	49

4.3	Pensamento e Raciocínio Científico	51
4.4	Explicações Científicas	54
4.5	Modelos Científicos	57
4.6	Teorias como Sistemas Axiomáticos	58
4.7	Teorias Científicas: A Controvérsia entre Descoberta e Justificação	61
4.8	Modelos de Descoberta Científica	63
4.8.1	Definição	63
4.8.2	Etapas para o Desenvolvimento	63
4.8.3	Sistemas de Descoberta Científica	64
4.8.4	Sistemas de Construção Interativa de Teorias	65
4.8.5	Estratégias de Aprendizagem Usadas	66
4.8.6	Aspectos Relevantes para a Realização de Descobertas Científicas	67
4.8.7	Classificação de Modelos de Descoberta Científica	70
4.8.8	Descoberta Científica como um Processo de Busca em um Espaço Duplo	71
4.8.9	Descoberta Científica em um Modelo de Quatro Espaços de Busca	74
4.9	Princípios sobre Aprendizagem por Descoberta	76
4.9.1	O Processo de Aprendizagem por Descoberta	77
4.9.2	Aprendizagem por Descoberta para Educação em Ciência	79
4.9.3	Modelos de Aprendizagem por Descoberta	81
4.9.3.1	Um Modelo de Espaço Duplo Estendido	82
4.9.4	Diferenças entre Sistemas Tutores Inteligentes e Ambientes de Aprendizagem por Descoberta	86
4.10	Conclusão	88

II O AMBIENTE DE DESCOBERTA 89

5 Considerações Gerais Sobre o Ambiente de Descoberta Proposto 90

5.1	Introdução	90
-----	----------------------	----

5.2	O Modelo Híbrido Idealizado	91
5.3	Arquitetura SLEC (Sistema Lógico de Explicação Científica)	99
5.4	O Contexto de Desenvolvimento deste Trabalho	103
5.5	Conclusão	106
6	Formalização XML do Modelo de Aprendizagem por Descoberta Idealizado	107
6.1	Introdução	107
6.2	Por que XML?	108
6.3	A Estrutura de Representação da Visão Hierárquica e da Visão Relacional	109
6.4	Representação e Indexação de Casos de Hipóteses e de Questionamentos	117
6.5	A Estrutura de Representação da Visão Causal e de Questionamento	126
6.6	Conclusão	136
7	Desenvolvimento do Ambiente de Descoberta Proposto	138
7.1	Introdução	138
7.2	Como Elaborar uma Teoria Inicial Utilizando o Modelo que foi Adotado?	139
7.3	Como Elaborar uma Teoria Nova a Partir de uma Teoria Inicial?	143
7.4	Aspectos Relevantes para a Integração XML	148
7.5	Um Exemplo de Concepção	150
7.6	Conclusão	160
8	Considerações Finais	162
III	ANEXOS	167
Anexo A:	Integração XML e Java	168
A.1.	Um Exemplo de um Documento XML	168
A.2.	O que é XML-Schema?	169
A.2.1.	Como Elaborar um Arquivo XML-Schema?	170
A.3.	Como Gerar uma API Java a partir do XML-Schema?	180

A.3.1. Java Architecture for XML Binding (JAXB)	181
A.3.2. Um Exemplo Prático	182
Anexo B: XML-Schema Referente ao Modelo XML Apresentado no Capítulo 6	201
Referências	212

LISTA DE FIGURAS

1	Evolução dos Sistemas de Ensino utilizando o Computador	19
2	Arquitetura de AIAC de Descoberta (MENESES, 2001)	24
3	Funcionamento de um AIAC de Descoberta (PARAGUAÇU, 1997)	24
4	Exemplo de relacionamento entre fatos e categorias	31
5	Árvore de Brentano para as categorias de Aristóteles (MOREIRA, 2003)	32
6	Diferentes análises na escolha de conceitos mais gerais em Ontologias de Topo	32
7	Ontologias uma proposta para a Web Semântica (MILLER, 2006)	33
8	Planos de Representação (SOUSA, 2003)	34
9	Tipos de Ontologias	36
10	Ontologia do Universo (RUSSEL; NORVING, 2003)	37
11	Ciclo do Raciocínio Baseado em Casos (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2001)	40
12	Universo da Ciência (MARCONI; LAKATOS, 2003)	50
13	Estrutura para Explicação Científica de um Fenômeno Empírico	55
14	A Influência do Desenvolvedor no Processo de Descoberta Científica	64
15	Hierarquia do Modelo SDDS (KLAHR; DUNBAR, 1988)	72
16	Um Modelo de 4-Espaços de Descoberta Científica (SCHUNN; KLAHR, 1995)	74
17	Descoberta em um Espaço de Busca Duplo (Joolingen, 1999)	81
18	Decomposição do Espaço de Hipóteses como Descrito por Joolingen e Jong (1997)	82
19	Alguns Exemplos de Configurações de Conhecimento (GIJLERS, 2005a)	84
20	<i>O Espaço de Hipóteses do Aprendiz e o Processo de Busca para assemelhar-se ao Modelo Conceitual Alvo</i> (HULSHOF, 2001)	85
21	O Ambiente de Descoberta Proposto	91
22	Um Modelo Híbrido para o Ensino Baseado em Casos e Ontologias	92

23	Exemplo de Taxonomia para a Visão Hierárquica	94
24	Exemplo de Formulação de Hipótese (Hipótese-1)	96
25	Exemplo de Formulação de Hipótese (Hipótese-2)	96
26	O Esquema resultante da Formulação de um Teoria	98
27	Arquitetura do Sistema Lógico de Explicação Científica (SLEC)	99
28	Modelos Científicos no Repositório XML	100
29	Representação <i>XML-Schema</i> referente à Visão Hierárquica	109
30	Representação <i>XML-Schema</i> referente à Visão Relacional	111
31	Esquema de Indexação Baseado em Relacionamento	117
32	Esquema de Indexação para as Bases de Casos de Hipóteses e Questionamentos	118
33	XML-Schema que especifica os Casos de Hipóteses	120
34	Trecho do XML-Schema que especifica uma Tripla que é definida como um Axioma . . .	120
35	Trecho do XML-Schema que especifica o Esqueleto de uma História	121
36	Representação Gráfica referente à Base de Casos de Hipóteses	121
37	XML-Schema que especifica os Casos de Questionamentos	122
38	Representação Gráfica referente à Base de Casos de Questionamentos	123
39	Encadeamento de Hipóteses Causais com Questionamentos Associados	126
40	XML-Schema referente à Visão Causal	127
41	XML-Schema referente à Visão de Questionamento	128
42	XML-Schema referente aos Elementos que Generalizam Axiomas	129
43	XML-Schema do elemento <i>Referencias</i>	130
44	Representação Gráfica referente a Visão Causal	131
45	Representação Gráfica referente a Visão de Questionamento	132
46	Formulando uma Teoria Inicial - Passo 1	139
47	Formulando uma Teoria Inicial - Passo 2	139
48	Formulando uma Teoria Inicial - Passo 3	140
49	Formulando uma Teoria Inicial - Passo 4	140

50	Formulando uma Teoria Inicial - Passo 5	141
51	Formulando uma Teoria Inicial - Passo 6	142
52	As Cenas de uma História que Representam as Hipóteses de uma Teoria	144
53	O Formato Individual de cada Cena (Hipótese)	144
54	Esquema de Representação Definindo <i>Axiomas e Teoremas</i>	145
55	Esquema de Representação para Compor uma Teoria Nova	147
56	XML-Schema que descreve as Características de uma Teoria	149
57	Cenas da História de Pinóquio	151
58	Taxonomia de Conceitos	153
59	O Aluno deve Comparar cada Cena e Formular uma outra Situação Particular	159
60	O Modelo Desenvolvido como uma Extensão para o Modelo SDDS	165
61	Exemplo de Representação XML	168
62	Representação em Árvore de um Documento XML	170
63	Tela Inicial do Ambiente Altova para Criar um Arquivo <i>XML-Schema</i>	171
64	Menu de opções (Editor Altova)	171
65	Definindo <i>Elementos e Tipos Complexos</i>	172
66	Especificação Inicial de um Arquivo <i>XML-Schema</i>	172
67	Níveis Hierárquicos em um Documento XML	173
68	Elaboração de um Arquivo <i>XML-Schema</i> (Etapas 1, 2, e 3)	174
69	Elaboração de um Arquivo <i>XML-Schema</i> (Etapas 4, 5, e 6)	174
70	Elaboração de um Arquivo <i>XML-Schema</i> (Etapas 7, 8, 9, e 10)	175
71	Elaboração de um Arquivo <i>XML-Schema</i> (Etapas 11, 12, 13, 14, e 15)	176
72	Elaboração de um Arquivo <i>XML-Schema</i> (Etapas 16, 17, 18, e 19)	177
73	Elaboração de um Arquivo <i>XML-Schema</i> (Etapas 20, 21, e 22)	177
74	Elaboração de um Arquivo <i>XML-Schema</i> (Etapas 23, 24, e 25)	178
75	<i>XML-Schema</i> Exemplo - resultante da modelagem realizada no Ambiente Altova	179
76	Java Architecture for XML Binding (JAXB) (ORT; MEHTA, 2003)	181

77	Web Services Developer Pack 1.5	182
78	Exemplo de Linha de comando para compilar um Arquivo XML-Schema	183
79	Visualização Parcial do Projeto Exemplo pelo Ambiente Eclipse	184
80	Relação Existente entre o XML-Schema com as Interfaces Java	185
81	Classe <i>ObjectFactory</i> gerada pela Compilação do Arquivo <i>Exemplo.xsd</i>	186
82	Classes e Interfaces Java Implementadas neste Exemplo	188
83	Interfaces e Classes do Exemplo (Diagrama 1 de 2)	189
84	Interfaces e Classes do Exemplo (Diagrama 2 de 2))	189

LISTA DE TABELAS

1	Esquema de Representação da Visão Hierárquica (Teoria Inicial)	154
2	Visão Relacional (Teoria Inicial)	156
3	Base de Casos de Hipóteses	157
4	Base de Casos de Questionamentos	157
5	Encadeamento de Hipóteses na Visão Causal (Teoria Inicial)	158

PARTE I

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) definia em 1958 como sendo "Alfabetizada" uma pessoa capaz de ler ou escrever um enunciado simples relacionado à sua vida diária (FONSECA, 2005). Porém, atualmente, considera-se "Alfabetizada Funcional" uma pessoa que é capaz de utilizar a leitura e a escrita para fazer frente às demandas de seu contexto social e usar essas habilidades para continuar aprendendo e se desenvolvendo ao longo da vida. Dentro desta realidade, consideram-se ainda aquelas pessoas que são incapazes de saber estruturar hipóteses sobre o mundo como sendo "Analfabetos Científicos" (PARAGUAÇU et al., 2003).

Neste sentido, entende-se que "*Alfabetismo científico é a capacidade de usar o conhecimento científico, identificar perguntas e extrair conclusões baseadas na evidência, a fim de compreender e ajudar a fazer decisões sobre o mundo natural e as mudanças feitas a ele com a atividade humana*" (OECD, 2003).

Baseado nestas afirmações, consideramos que habilitar uma pessoa a ser "alfabetizada cientificamente" é possibilitar que ela reflita sobre o conhecimento do mundo baseado na evidência, para que ela possa tirar as suas próprias conclusões, possibilitando-as a entender como é possível raciocinar através de *operações cognitivas* (indução, dedução, analogia, resolução de problemas e raciocínio causal) (HOLYOAK; MORRISON, 2005) que os seres humanos aplicam a domínios científicos e não científicos, pela formulação de *hipóteses* na construção de *teorias*, realizadas pela *descoberta* de regularidades que governam o mundo.

1.1 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Tomando por base o argumento usado acima, este trabalho tem por objetivo conceber uma Arquitetura de um Ambiente de Descoberta (PARAGUAÇU, 1997) para ajudar no processo de aprendizagem do raciocínio científico, para que o aprendiz possa através da interação com o ambiente aprender como os *conceitos* que estão envolvidos na formulação de uma teoria científica estão relacionados. Sendo assim, dentro deste ambiente são tratados *conceitos* tais como: categorias de classes e objetos, axiomas, teorema, causalidade e questionamento científico. Idealiza-se que, através da interação com o ambiente, o aprendiz possa formular hipóteses sobre o domínio do conhecimento que está sendo abordado. E, para esta realização, pretende-se utilizar a metáfora de contos infantis, ou seja, com o uso de histórias de contos de fadas pretende-se facilitar o processo de aprendizagem do raciocínio de *operações cog-*

nitivas (indução, dedução, analogia, resolução de problemas, e raciocínio causal) para possibilitar o entendimento da formulação de *hipóteses* na construção de *teorias*.

Sendo assim, durante o processo de interação com o ambiente de descoberta, o aprendiz deverá poder entender: como categorizar conceitos (em classes e objetos) envolvidos na história do conto; elaborar axiomas a partir dos conceitos que estão hierarquicamente organizados nesta taxonomia; criar hipóteses de forma que possa entender como é realizado o processo de causa e efeito em ciência; entender o que é uma situação particular e uma situação generalizada (considerando o aspecto das leis científicas); como também poder entender o processo que está envolvido quando é realizado o questionamento científico na formação de uma teoria.

Desta forma, na próxima seção deste capítulo procura-se contextualizar a proposta deste trabalho, lançando as idéias centrais que estão envolvidas para esta realização. Após esta contextualização, na seção seguinte, será mostrada a sequência dos assuntos que foram definidos para os capítulos referentes a este documento, com uma breve explanação do que será abordado em cada capítulo.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

O ponto de partida inicial para a elaboração desta dissertação foi o Modelo MIDES (*Model Interactif de DEcouverte Scientifique*) (PARAGUAÇU et al., 2003). Este modelo foi idealizado para que comunidades virtuais de cientistas pudessem documentar "*teorias científicas*" formalizadas pelo cálculo sentencial em quatro visões de conhecimento (hierárquica, relacional, causal, e de questionamento) em um formato especificado em XML (*EXtensible Markup Language*). A base de teste deste modelo foram duas aplicações: (i) Uma enciclopédia de Química Orgânica (*EnCoRE - Encyclopédie de Chimie Organique Electronique*) (PARAGUAÇU et al., 2003; LEMOISSON et al., 2004); (ii) e o Sistema SIANALCO (MENESES, 2001).

Uma extensão para o modelo MIDES foi idealizada para este trabalho. Este novo modelo será chamado MIDES++, sua função será representar "*teorias científicas*" em quatro visões de conhecimento, como também servir como um "modelo de aprendizagem por descoberta". Para esta realização, em vez de utilizar o cálculo sentencial como idealizado inicialmente em MIDES, será utilizado um "cálculo abstrato axiomático interpretado" para formalizar "*teorias científicas*" nas quatro visões de conhecimento. Para esta nova representação serão adicionadas também duas bases de casos de histórias (casos de hipóteses, e casos de questionamentos).

Por sua vez, o modelo MIDES++ será um modelo híbrido, com o uso de Ontologias e do Ensino Baseado em Casos. E este receberá uma formalização em XML, concretizando assim a representação das quatro visões de conhecimento e também as duas bases de casos de histórias.

O nível de aplicação do modelo MIDES++ serão duas aplicações que servirão para elaborar "teorias científicas" (através do uso da metáfora de histórias de contos infatis) em uma representação XML: (i) a primeira aplicação servirá para que uma comunidade de professores possa elaborar uma teoria inicial (conto inicial) nas quatro visões de conhecimento; (ii) e a segunda aplicação, servirá para que o aprendiz possa a partir desta teoria inicial elaborar uma teoria nova (conto novo) através do mecanismo de aprendizagem por descoberta que será proporcionado pelo ambiente de descoberta a ser desenvolvido.

Idealizou-se, portanto, que para integrar estas duas aplicações necessitaria-se de uma arquitetura. Esta arquitetura será apresentada posteriormente, neste trabalho, e esta recebeu o nome de Arquitetura do "Sistema Lógico de Explicação Científica" (SLEC).

Desta forma, para formalizar o modelo MIDES++ e desenvolver o ambiente de descoberta que será proposto pela Arquitetura SLEC, dividimos este documento em duas partes. A Parte 1 (composta pelos capítulos de 1 a 4) apresentará a "*fundamentação teórica*" para o desenvolvimento do modelo e posterior arquitetura. Na Parte 2, composta pelos demais capítulos, será desenvolvido o "*ambiente de descoberta*" proposto para este trabalho. A organização deste documento está disposta de acordo com a estrutura apresentada a seguir.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura que foi definida para este documento é descrita conforme organização a seguir:

- *Capítulo 1: Introdução.* Apresenta o contexto ao qual está inserido este trabalho;
- *Capítulo 2: Evolução dos Ambientes de Aprendizagem Mediados por Computador.* O objetivo deste capítulo é delinear as características gerais dos *Ambientes de Aprendizagem Mediados por Computador* e detalhar, particularmente, os *Ambientes de Descoberta* aplicados ao Questionamento Científico para então refletir sobre as idéias centrais que são a base para o desenvolvimento deste trabalho.
- *Capítulo 3 - Ontologias e o Ensino Baseado em Casos.* O principal objetivo deste capítulo é dar noções gerais sobre o conceito de *Ontologias* e sobre o *Ensino Baseado em Casos* para dar o suporte necessário na elaboração de um *modelo híbrido* que concretize um *Ambiente de Descoberta* para auxiliar o aprendiz no entendimento ontológico aplicado ao raciocínio científico;
- *Capítulo 4 - Os Pressupostos para Formação de Teorias e Descoberta em Ciência.* Este capítulo procura apresentar os "*Fundamentos para Elaborar um Modelo Computacional de Aprendizagem por Descoberta no Contexto de Formalização de Teorias Científicas*", esclarecendo alguns conceitos de forma sucinta, mas que são de grande importância para o entendimento do modelo e da arquitetura que serão propostas para este trabalho.

- *Capítulo 5 - Considerações Gerais Sobre o Ambiente de Descoberta Proposto.* Este capítulo apresenta uma arquitetura para um ambiente de descoberta composto por um modelo híbrido que utiliza o ensino baseado em casos, em conjunto com a organização ontológica aplicada ao raciocínio científico;
- *Capítulo 6 - Formalização XML do Modelo de Aprendizagem por Descoberta Idealizado.* Este capítulo tem por finalidade apresentar uma pequena justificativa do porquê de ter sido escolhido XML como forma de representação de conhecimento, bem como mostrar a formalização para o *modelo XML* que foi proposto para a camada de armazenamento da Arquitetura SLEC (capítulo 5);
- *Capítulo 7 - Desenvolvimento do Ambiente de Descoberta Proposto.* Neste capítulo foi estabelecido mostrar o desenvolvimento para a realização das duas aplicações que foram destinadas a arquitetura SLEC, como também a forma de integração que deve existir entre estas duas aplicações com o *modelo de aprendizagem por descoberta* que foi formalizado no capítulo 6;
- *Capítulo 8 - Considerações Finais.* Este capítulo apresenta as considerações finais a respeito deste trabalho.

2 EVOLUÇÃO DOS AMBIENTES DE APRENDIZAGEM MEDIADOS POR COMPUTADOR

O objetivo deste capítulo é delinear as características gerais dos *Ambientes de Aprendizagem Mediados por Computador* e detalhar, particularmente, os *Ambientes de Descoberta* aplicados ao Questionamento Científico para então refletir sobre as idéias centrais que são a base para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 INTRODUÇÃO

Em uma abordagem de aplicações de informática na educação, pode-se dividir o seu estudo em duas grandes correntes (AZAMBUJA, 1992): (1) *algorítmica*: caracterizada pela existência de uma seqüência pré-definida de atividades que guiem o aluno na aprendizagem, rumo a um objetivo; e (2) *heurística*: pela exploração de atividades que propiciem o desenvolvimento de habilidades, por meio da solução de problemas, criatividade, manipulação de objetos, etc, sempre sob o controle do próprio aluno.

No primeiro enfoque, o computador é visto como uma "máquina de ensinar" e, no segundo, é visto como uma "ferramenta para aprender". A segunda abordagem caracteriza-se pelo uso de técnicas de Inteligência Artificial para Resolução de Problemas. Portanto, conforme estas duas linhas de raciocínio, considera-se neste trabalho que os *Ambientes Tradicionais de Aprendizagem por Computador* - ATAC caracterizam-se pela abordagem algorítmica, e os *Ambientes Interativos de Aprendizagem por Computador* - AIAC (apresentado na seção 2.3) pelo uso da abordagem heurística.

2.2 AMBIENTES TRADICIONAIS DE APRENDIZAGEM POR COMPUTADOR

Os *Ambientes Tradicionais de Aprendizagem por Computador* (ATAC) apareceram nos anos 60 e são fundados sobre as teorias da psicologia behaviorista de estímulo-resposta proposta por Skinner (PARAGUAÇU, 1997). Utilizados ainda hoje, esta abordagem resulta na construção de ambientes de aprendizagem que incorporam o material de um curso em forma de ensino programado, procurando instigar e controlar a aprendizagem.

Essa categoria de sistemas implementa ações idênticas para todos os alunos, visto que não apresentavam capacidade de adaptação ao perfil do aluno, sendo estes meros simuladores do livro tradicional, onde o aprendiz passa por cada página da teoria e chega a uma parte de exercício, faz o exercício e olha no fim do capítulo se está correto. Se for o caso, continua a fazer as tarefas seguintes (ler ou fazer exercícios). No caso contrário, o sistema mostra-lhe a resposta esperada.

Estes programas, também conhecidos como CAI (*Computer Assisted Instruction* - Instrução assistida por computador), evoluíram junto com a tecnologia computacional fazendo uso de recursos gráficos, vídeos coloridos e grandes capacidades de memória, assim como velocidade de processamento, incorporando, ao mesmo tempo, a própria evolução das teorias behavioristas de aprendizagem (AZAMBUJA, 1992).

Entretanto, a característica principal destes sistemas continuava sendo o fato de que a informação transmitida e a estratégia de ensino adotada era sempre rígida, pré-estabelecida, não adaptável ao aluno e determinada a priori pelo autor.

Segundo Urretavizcaya (2001), de forma genérica, estes sistemas ainda têm em comum as seguintes características : (1) Os cursos são muito extensos; (2) A comunicação entre o tutor e o aluno não está muito bem definida; (3) O conhecimento do *como e por que* se executam as tarefas de ensino estão incorporados. Isto é, os sistemas de ensino reagem segundo os modelos estabelecidos e com certa independência das atitudes e preferências do aluno concreto; (4) O desenho e implementação dos sistemas são feitos sob medida; (5) O conhecimento que inclui não se vê modificado com o tempo, não evolui.

Desta forma, fazendo uma evolução histórica, pode-se observar conforme exibido na figura 1 (UR-RETAVIZCAYA, 2001) como os sistemas de *Instrução assistida por computador* (CAI) evoluíram no decorrer dos anos até o aparecimento dos *Sistema Tutores Inteligentes* (STI), assunto que será explicado posteriormente na seção 2.3.1.



Figura 1: Evolução dos Sistemas de Ensino utilizando o Computador

Conforme a figura acima, os primeiros sistemas de ensino assistidos por computador apareceram na década de 50 e eram denominados de *programas lineares*, que se caracterizavam por mostrar o conhecimento de uma forma linear, assim por meio deste nenhum fator podia mudar a ordem de ensino estabelecida pelo programador.

A partir dos anos 60, apareceram os *programas ramificados*, que eram mais adequados por oferecerem *feedback*, sendo adaptados ao ensino para dar respostas aos alunos. Diferenciavam-se de seu

antecessor pela capacidade de atuar segundo a resposta do aluno. Esta melhoria foi obtida pela técnica de *pattern-matching* (que consiste em comparar padrões de strings) e pela utilização de linguagens de autoria. A técnica de *pattern-matching* permitia tratar as respostas do aluno como aceitáveis ou parcialmente aceitáveis, no lugar de totalmente corretas ou incorretas como exigia a proposta de Skinner. Já a proposta da utilização de linguagens de autoria foram desenvolvidas por serem apropriadas para o desenvolvimento de materiais CAI de forma tratável pelo sistema, pois os programas lineares eram, em geral, muito extensos e intratáveis por meios clássicos.

Ao final dos anos 60 e princípio dos anos 70, surgiram os **sistemas gerativos** (também chamados de sistemas adaptativos). Esses sistemas foram associados a uma nova filosofia educacional que defende que os alunos aprendem melhor quando enfrentam problemas de dificuldade adequada, do que atendendo a explicações sistemáticas, isto é, adaptar o ensino às suas necessidades. Estes sistemas podem gerar um problema de acordo com o nível de conhecimento do aluno, construir sua solução e diagnosticar a resposta do aluno. Em geral, a solução para um problema concreto não é única. No entanto, estes sistemas criam uma única solução que era a base para o seu diagnóstico. Como limitação apresentada, estes sistemas não são usados para todo o tipo de domínio de ensino. Apesar de obter bons resultados em áreas como a da aritmética¹, a dificuldade para gerar problemas aumentava consideravelmente em outras áreas de conhecimento.

2.2.1 ARQUITETURA BÁSICA

De forma geral, a arquitetura básica de um *Ambiente Tradicional de Aprendizagem por Computador* baseia-se nas seguintes partes (PARAGUAÇU, 1997):

- **Módulo do aprendiz:** contém o histórico das respostas corretas e incorretas do aprendiz. Representa o "perfil do aprendiz" e não altera durante a interação.
- **Estratégia Pedagógica:** é a mesma durante toda a interação. Por exemplo, o sistema (como um livro) pode expor a matéria (assunto) de acordo com uma ordem determinada qualquer para o aprendiz.
- **Matéria:** é composta normalmente de um conjunto de fatos que são armazenados numa pasta de maneira fixa.
- **Interface:** é o meio de comunicação entre o aprendiz e o sistema.

¹Por exemplo, um gerador randômico de números podia produzir dois números para serem somados pelo aluno, e logo o resultado da adição do computador era comparado como o resultado do aluno, para gerar a resposta.

2.2.2 LIMITAÇÕES

Segundo Paraguaçu (1997), pela facilidade de implementação, os ATAC tornam-se viáveis ainda hoje. Porém, estes apresentam algumas limitações:

- *São focalizados sobre o conhecimento declarativo:* o aprendiz pode aprender o "saber" em detrimento de uma abordagem mais processual ou do "know how" (saber fazer -> através da: experiência, prática).
- *Interatividade limitada:* o aprendiz é obrigado a seguir um "caminho" de aprendizagem já traçado, não tem a possibilidade de dialogar ou interagir com o sistema.

2.3 AMBIENTES INTERATIVOS DE APRENDIZAGEM POR COMPUTADOR

Devido às limitações existentes nos ATAC, soluções, aplicando uma abordagem heurística para resolução de problemas com o uso de Inteligência Artificial (IA), vêm sendo usadas em *Ambientes Interativos de Aprendizagem por Computador (AIAC)*, com a finalidade de aumentar a interatividade e adaptar-se melhor às necessidades pessoais de cada usuário.

Paraguaçu (1997) afirma que os AIAC são classificados conforme os critérios de controle que o sistema tem sobre o aprendiz e são caracterizados em três categorias: *(1) Tutores Inteligentes*; *(2) Ambientes de Descoberta* (caracterizado por uma arquitetura aberta e uma representação do domínio na interface); e *(3) Ambientes de Aprendizagem Social* (fundamentados sobre duas noções principais: a concepção de agentes de "software" e o estudo dos protocolos de cooperação, de colaboração e competição).

Portanto, de acordo com a classificação apresentada por Paraguaçu, nosso trabalho está inserido no âmbito de um *Ambiente de Descoberta*. Desta forma, para não sermos muito extensivos, porém claros em nossos objetivos, nas seções seguintes, apresentaremos apenas as idéias centrais referentes a *Tutores Inteligentes* e aos *Ambientes de Descoberta*.

2.3.1 TUTORES INTELIGENTES

Os primeiros sistemas educacionais que apresentaram um certo grau de "inteligência" e que inicialmente foram chamados de ICAI (*Intelligent Computer Assisted Instruction*) são hoje conhecidos como Sistemas Tutores Inteligentes (STI) e se desenvolveram a partir da constatação das limitações dos "sistemas gerativos", como também dos estudos referentes à aplicação de técnicas de IA, com especial atenção ao problema de como representar o conhecimento no âmbito de um sistema inteligente (SILVA, 1998).

Deve-se ainda a sua popularidade ao desenvolvimento dos sistemas "especialistas" e aos trabalhos sobre a linguagem natural. De uma forma geral, a atuação de um STI é o resultado da convergência de conhecimentos interdisciplinares provenientes da psicologia cognitiva, da IA e da didática (PARAGUAÇU, 1997).

O objetivo principal de um STI é simular as funções pedagógicas de um professor "ideal" (PARAGUAÇU, 1997), pretendendo proporcionar um ensino que se possa adaptar dinamicamente ao aluno, às suas preferências, ao seu ritmo de aprendizagem e sobretudo ao seu nível de conhecimento (SILVA, 1998). Como exemplo, poderemos pensar que, no decorrer de um curso, o professor poderá colocar o problema, corrigi-lo e colocar outro problema adaptado ao estado cognitivo do aprendiz.

2.3.1.1 ARQUITETURA TRADICIONAL

A arquitetura tradicional de um STI é composta por quatro módulos elementares:

1. **Módulo de Domínio** : Armazena o conhecimento a ser apresentado, ou seja, contém as informações de um determinado domínio que representa o conhecimento de um especialista (JESUS, 2003). Este módulo é utilizado como um padrão para avaliar o desempenho do estudante e deve gerar soluções para o problema elaborado. Neste módulo, os conhecimentos podem ser representados sob as seguintes formas:
 - **declarativo** - trata da compreensão do domínio e sua relação com outros domínios. Os formalismos utilizados são as redes semânticas e a lógica;
 - **procedural** - torna possível o raciocínio que é utilizado para realizar uma tarefa para os conhecimentos operacionais;
 - **híbrido** - contém as operações executadas para resolver problemas. Sintetiza os conhecimentos declarativos e procedurais.

2. **Módulo do Aprendiz** : Guarda informações sobre as características pessoais e o desempenho individual de cada aprendiz (MENESES, 2001). É uma descrição do estado cognitivo do aprendiz. O módulo do domínio e o módulo do aprendiz devem estar fundamentados em uma mesma teoria cognitiva, tendo em vista que a avaliação do desempenho dos estudantes é baseada na comparação entre estes módulos. Há duas maneiras de modelar o aprendiz com relação ao conhecimento do domínio:
 - **modelo dos conhecimentos parciais (*overlay model*)**: os conhecimentos do aprendiz são um subconjunto dos conhecimentos de um perito do domínio;
 - **modelo dos conhecimentos perturbados (*bug model*)**: o módulo do aprendiz é associado ao mesmo tempo a um conjunto de conhecimentos corretos e a um conjunto de conhecimentos incorretos ou perturbados.

3. **Módulo Pedagógico** : Contém o conhecimento necessário para tomar decisões sobre qual ou quais táticas de ensino deverão ser utilizadas para o ensino do conteúdo trabalhado, possibilitando decidir sobre as atitudes a tomar diante da interação com o aprendiz.
4. **Módulo de Interface** : Responsável pela comunicação entre o sistema tutor e o aprendiz, pode ser utilizado para representar o conhecimento na tela do computador, apresentar o problema e os raciocínios, cooperar em situações de resolução de problemas e elaborar modelos mentais adequados.

2.3.1.2 LIMITAÇÕES DOS SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

As *dificuldades* que aparecem na implementação dos STI são (PARAGUAÇU, 1997):

- dificuldade de extrair informações suficientes dos especialistas humanos para definir o modelo pedagógico e o modelo do domínio;
- dificuldade de reusabilidade de modelos genéricos quando aplicados a domínios específicos;
- dificuldade de representar o conjunto dos conhecimentos suficientes para encontrar *explicações* em cada tipo de situação de um tutor;
- dificuldade de tomada de iniciativa por parte do aprendiz, pois o sistema controla tudo.

2.3.2 AMBIENTES DE DESCOBERTA

Os *AIAC do Tipo Descoberta* são caracterizados por uma visão pedagógica diferente (PARAGUAÇU, 1997), ou seja, pelo fato do aprendiz decidir livremente o caminho a seguir, através de sua própria ação. Assim, alguns pontos chave são considerados:

- **Disponibilidade do conhecimento do domínio para o aprendiz:** o aprendiz é seu próprio tutor, devendo estruturar o seu próprio conhecimento, não por um conhecimento transmitido, mas pela disponibilidade na interface do *conhecimento do domínio*.
- **O aprendiz tem o controle:** devido ao fato de que ele pode decidir o que deve fazer em um dado momento. Contudo, o ambiente deve fornecer os métodos e as ferramentas que são essenciais, de modo que o saber guie-se por ele mesmo.
- **O ambiente é concebido a partir de uma teoria sobre a concepção dos objetos do domínio:** que é muito útil para críticas eventuais dos erros de concepção do aprendiz.
- **O ambiente de aprendizagem deve favorecer** a co-elaboração do conhecimento em parceria com o aprendiz e a confrontação entre vários pontos de vista de concepção dos elementos do domínio.

2.3.2.1 ARQUITETURA DE UM AIAC DE DESCOBERTA

A arquitetura básica (figura 2) deste ambiente é composta por dois módulos:

- **Módulo de Domínio:** organiza o conhecimento para garantir a avaliação e a explicação manipulando objetos que são representados na interface;
- **Módulo de Interface:** meio de comunicação entre o aprendiz e o sistema.

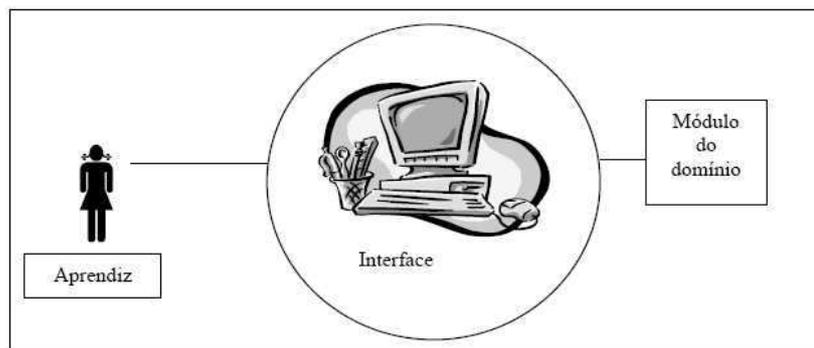


Figura 2: Arquitetura de AIAC de Descoberta (MENESES, 2001)

2.3.2.2 FUNCIONAMENTO E LIMITAÇÕES DE UM AIAC DE DESCOBERTA

A funcionalidade de um AIAC de descoberta é simples (figura 3), o aprendiz, numa situação de resolução de problema, solicita uma ajuda e o sistema dá-lhe uma retroação (PARAGUAÇU, 1997). Por outro lado, a interpretação desta, bem como a decisão sobre a próxima ação, é de competência e responsabilidade do aprendiz.

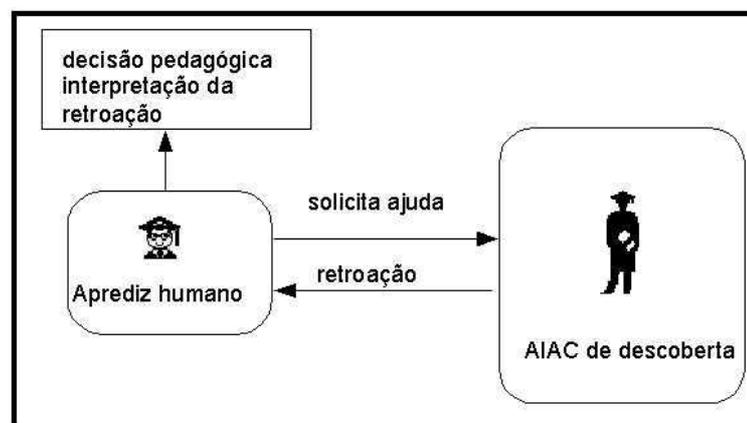


Figura 3: Funcionamento de um AIAC de Descoberta (PARAGUAÇU, 1997)

A principal limitação neste ambiente é a ausência de um mínimo de orientação, o que pode colocar o aprendiz em um caminho divergente. Para superar estas dificuldades, Paraguaçu (1997) afirma que pesquisas como os *ambientes de descoberta guiado* (ELSOM-COOK, 1990) e os ambientes fundamentados sobre cenários (SCHANK, 1996) foram propostas, apresentando uma orientação variável do aprendiz.

2.3.2.3 A PESQUISA RECENTE EM AMBIENTES DE DESCOBERTA

Diante desta realidade, a pesquisa recente mostra que alguns termos correlacionados estão sendo utilizados para a denominação de *ambientes de descoberta* (discovery environments). Esta tendência pode ser observada em trabalhos (HULSHOF, 2001; VEERMANS, 2003; GILERS, 2005a, 2005b) que recebem a denominação de *ambientes de aprendizagem por investigação* (*inquiry learning environments*) e *ambiente de aprendizagem por descoberta* (*discovery learning environments*).

Com efeito, Veermans (2003) afirma que os *conceitos* que um aprendiz constrói durante *aprendizagem por descoberta* necessitam ser testados. Sendo assim, construir e testar *conceitos* são parte da *investigação* (*inquiry*) do fenômeno. Portanto, baseado nesta afirmação Veermans (2003) considera que *descoberta* (*discovery*) está relacionada ao resultado, *investigação* (*inquiry*) ao processo. Desta forma, *aprendizagem por descoberta* (discovery learning) e *aprendizagem por investigação* (inquiry learning) estão correlacionadas, e ambos os termos na literatura são considerados importantes.

Contudo, maiores detalhes sobre este assunto somente serão dados no capítulo 4. Assim, nas duas seções seguintes deste capítulo pretende-se dar uma breve introdução sobre o contexto de descoberta relacionado ao questionamento científico e, posteriormente, alguns exemplos de *ambientes de descoberta* que são referenciados na literatura.

2.3.2.4 O CONTEXTO DE DESCOBERTA PARA O QUESTIONAMENTO CIENTÍFICO

A procura pela descoberta para as várias perguntas que são feitas pelos seres humanos aparece desde o seu nascimento, quando os bebês têm o costume de observar os rostos das pessoas que se aproximam, agarrar objetos, pôr coisas em suas bocas e se direcionar para vozes. Este processo de investigação começa com o recolhimento da informação e dos dados de como aplicar os sentidos do ser humano: vendo, ouvindo, tocando, provando, e cheirando. Desta forma, é inerente ao ser humano, desde o seu nascimento e no decorrer de sua vida, buscar explicações através do bom senso para solucionar as dificuldades de seus problemas. Com a sofisticação do bom senso, nasceram muitas das ciências através das preocupações diárias do homem. A Geometria, como se sabe, surgiu de questões práticas, relacionadas com a mensuração de terras. A Biologia também deve muito às preocupações com a saúde e com a reprodução (HEGENBERG, 1973).

Portanto, à medida que os problemas se sucedem, as investigações se tornam mais minuciosas,

exigindo respostas satisfatórias para as questões que preocupam o indivíduo, com o desejo de obter explicações de forma sistemática e controlável pela evidência fatural é que se obtém o saber científico.

Assim, o cientista, além de observar, experimentar, medir, também lança hipóteses. São elas, afinal, que, de alguma forma, justificam e dão sentido às outras atividades do pesquisador. Portanto, o cientista tem alguns traços característicos que são inerentes de sua atividade, como: criticar concepções existentes, lançar novas hipóteses, explicar, prever, e controlar previsões.

Em tais circunstâncias e a partir da formulação de um encadeamento lógico de hipóteses é que o cientista é capaz de criar teorias através de links causais, desta forma a relação de causa-efeito mostra-se como um importante aspecto de nossas vidas, que permite pensar e motivar nossas ações. Conhecimento de causa e efeito constitui a base para tomar decisões de forma racional na resolução de problemas (GREEN; BEAN; MYAENG, 2002). Como consequência deste comportamento, o aluno aprendiz em ciência pode beneficiar-se com o uso de Ambientes de Descoberta para o Questionamento Científico de forma que possa testar hipóteses e obter explicações para os seus questionamentos.

É nesse sentido que "Aprendizagem Baseada em Investigação" (*inquiry-based learning*) (EXLINE, 2004) pode ser de grande utilidade. Porém, o que isso significa? Para explicar esta questão, Joe (EXLINE, 2004) lembra um antigo provérbio, que menciona: *conte-me e eu esqueço, mostre-me e eu me lembrarei, envolva-me e eu entenderei*. Assim, *investigação* significa envolvimento que leva ao entendimento. Além do mais, envolvimento na aprendizagem implica a posse de habilidades e atitudes que permitam a você procurar resoluções de questões e assuntos enquanto constrói um novo conhecimento. Por meio de, "Investigação" é definida como "uma busca pela verdade, informação, ou conhecimento, procurando a informação pelo questionamento".

Mas, investigação eficiente é mais do que só fazer perguntas, visto que um processo complexo é envolvido quando indivíduos tentam converter informação e dados em conhecimento útil. Aplicação útil de aprendizagem por investigação envolve vários fatores: um contexto para perguntas, uma estrutura para perguntas, um foco para perguntas e níveis diferentes de perguntas. Aprendizagem por investigação bem projetada produz conhecimento que pode ser largamente aplicado.

Para os educadores, a investigação implica a ênfase no desenvolvimento de habilidades que cultivem atitudes investigativas ou hábitos da mente que permitirão aos indivíduos continuar a procurar o conhecimento durante toda a vida. Neste contexto, aprendizagem por investigação pode ser aplicada a todas as disciplinas, pois os indivíduos necessitam de muitas perspectivas de visões de mundo, podendo incluir perspectivas artísticas, científicas, históricas, econômicas, entre outras.

Um resultado importante da investigação deve ser o conhecimento útil sobre os mundos naturais e projetados pelo homem. Como estes mundos são organizados? Como mudam? Como se relacionam? E como nos comunicamos sobre, dentro, e através destes mundos? Estes conceitos amplos contêm os assuntos e as perguntas importantes que os indivíduos enfrentarão durante toda as suas vidas.

Dentro de uma estrutura conceitual, a aprendizagem por investigação e a participação ativa do aprendiz podem conduzir a resultados importantes na sala de aula. Os estudantes que ativamente fazem observações, coletam, analisam e sintetizam a informação e tiram conclusões estão desenvolvendo habilidades úteis de resolução de problemas. Estas habilidades podem ser aplicadas à "necessidade do saber", situações que os estudantes encontrarão na escola e no trabalho.

2.3.2.5 EXEMPLOS DE AMBIENTES DE DESCOBERTA

A seguir procura-se apresentar uma breve citação de alguns projetos relacionados ao desenvolvimento de *ambientes de descoberta*. Esta explanação não pretende abranger minúcias de cada projeto, apenas servirá de um guia para o leitor interessado que deseja ter conhecimento de quais são os projetos que estão relacionados e são citados na literatura² sobre o assunto:

- O primeiro projeto a ser citado é um laboratório virtual para engenharia termodinâmica, este projeto é referenciado como *CyclePad* (WHITE; FREDERIKSEN, 1990), e consiste de um micro-mundo complexo que demonstra como o raciocínio qualitativo e outras técnicas de IA podem ser usadas para criar um ambiente de aprendizagem inteligente para estudantes aprenderem analisar e projetar ciclos termodinâmicos através da simulação por intermédio da realização de experimentações e o teste de hipóteses;
- Um segundo projeto é uma proposta de *uma plataforma universal para aprendizagem por investigação* (WOOLF et al., 2002), que se propõem a dar o suporte para vários domínios através de uma infraestrutura básica para investigação. Esta proposta apresenta ferramentas genéricas e reusáveis que podem guiar o estudante através da exploração de um espaço de problemas, pelo qual é possível gerar hipóteses, e testar previsões sobre teorias. O modelo deste projeto é apresentado em três domínios: Engenharia Civil, Biologia, e Geologia;
- Um terceiro ambiente de descoberta a ser citado é o projeto *BGuILE*³ (BGUILE, 2006), que se destina à aprendizagem de biologia para alunos do segundo grau. Este projeto basicamente se caracteriza pela possibilidade de exploração por parte do aprendiz de um ambiente que proporciona investigar atividades que simulam o processo de seleção natural através de um modelo idealizado, que ajuda o aluno a aprender concepções sobre o mundo natural;
- Um outro projeto que pode ser enquadrado como um ambiente de descoberta é o projeto *Rashi* (RASHI, 2006), este software educacional fornece uma estrutura genérica para apoiar investigação em múltiplos domínios, e está sendo utilizado para ensinar biologia humana, geologia, e engenharia florestal;

²Maiores detalhes da pesquisa atual sobre *ambientes de descoberta* será dado no capítulo 4.

³*Biology Guided Inquiry Learning Environments - Ambiente de Aprendizagem Guiado para a Investigação em Biologia.*

- Pode-se observar ainda o desenvolvimento de ambientes de descoberta no "*planejamento tutorial centrado em narrativa para ambientes de aprendizagem baseado em investigação*". Neste contexto, Mott e Lester (2006) apresentam uma arquitetura que se propõem para este planejamento narrativo e controle pedagógico, no qual estudantes participam resolvendo problemas baseados em *histórias*. Desta forma, segundo os referidos autores, um desafio chave para *aprendizagem centrada em narrativa* é orquestrar todos os eventos no desdobramento da *história* para motivar estudantes e promover efetiva aprendizagem. A arquitetura proposta continuamente constrói e atualiza planos narrativos para suportar o ciclo de testes de geração de hipótese que forma a base para a aprendizagem baseada em investigação.

Neste desafio para a concepção de *ambientes de descoberta* pode-se conferir ainda um relatório recente (GIJLERS, 2005b) que mostra um inventário de programas que foram desenvolvidos para *aprendizagem por investigação (inquiry learning)*. Estes programas desenvolvidos visam promover o desenvolvimento efetivo da aprendizagem nas mais variadas áreas, como por exemplo: astronomia (JESUIT-UNIVERSITY, 2006a); matemática (EXPLORELEARNING, 2006); biologia (JESUIT-UNIVERSITY, 2006b); física (SCIENCESPACE, 2006); etc.

2.4 CONCLUSÃO

Do que foi exposto neste capítulo, observa-se que um fato interessante no projeto de *ambientes de descoberta* é uma característica chave que visa promover a aprendizagem com o uso da *investigação científica*, por intermédio da elaboração de hipóteses, experimentos e a simulação para uma aprendizagem efetiva do estudante.

Sendo assim, para dar o suporte computacional necessário para o projeto de um *ambiente de descoberta* deve existir uma base conceitual teórica implementada. Neste desafio, pretende-se apresentar nos dois próximos capítulos as bases conceituais que darão este suporte teórico necessário para que seja possível apresentar um *modelo de aprendizagem por descoberta* (no capítulo 6) com o uso de *ontologias* e do *ensino baseado em casos*. Desta forma, após a apresentação dessa base teórica será possível apresentar uma arquitetura (capítulo 5) que integre este *modelo de aprendizagem por descoberta* que será concebido para este fim, e desenvolvido nos capítulos subseqüentes.

3 ONTOLOGIAS E O ENSINO BASEADO EM CASOS

O principal objetivo deste capítulo é dar noções gerais sobre o conceito de *Ontologias* e sobre o *Ensino Baseado em Casos* para dar o suporte necessário na elaboração de um *modelo híbrido* que concretize um *Ambiente de Descoberta* para auxiliar o aprendiz no entendimento ontológico aplicado ao raciocínio científico.

3.1 INTRODUÇÃO

Deseja-se que os fundamentos teóricos apresentados neste capítulo sirvam para propor um *modelo híbrido* com o uso de *ontologias* e do *ensino baseado em casos*. Para tanto, propor este *modelo híbrido* é o mesmo que definir a integração de *conhecimento generalizado* com *conhecimento especialista*. Assim, para representar *conhecimento generalizado*, sabe-se que freqüentemente é feita a modelagem através de *redes semânticas* (que é um dos formalismos propostos por *ontologias*). Por outro lado, pode-se representar *conhecimento especialista* por intermédio do *raciocínio baseado em casos*. Desta forma, nas seções seguintes deste capítulo, pretende-se fazer as considerações necessárias para este entendimento.

3.2 EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE ONTOLOGIAS

Observa-se que no decorrer da história da pesquisa no Processamento de Conhecimento, *Sistemas Especialistas* têm confirmado a importância de uma base de conhecimento no armazenamento de conhecimento perito de especialistas humanos na resolução de problemas do mundo real (MIZOGUCHI, 2003). A tecnologia chave para este advento é codificada na forma de Regras *Se-Então*, para o desenvolvimento de grandes bases de conhecimento. O fato é que manter, compartilhar e reutilizar conhecimento armazenado em bases de regras é bastante difícil. Assim, com a intenção de superar estas dificuldades, pesquisa em Engenharia de Conhecimento começou a evoluir da tecnologia de bases de regras para modelagem de conhecimento. Modelar estruturas de resolução de problemas independentes do domínio é uma das metas para facilitar a construção e manutenção de bases de conhecimento, no tratamento de tarefas genéricas.

Desta forma, o papel de uma ontologia para uma base de conhecimento é dar definições de conceitos

usados na representação de conhecimento e restrições entre conceitos para fazer a base de conhecimento coerente e transparente que são propriedades necessárias do compartilhamento e reuso de conhecimento.

Assim, Mizoguchi (2005) considera que uma ontologia, que é um sistema de conceitos fundamentais, isto é, um sistema do conhecimento profundo de alguma base de conhecimento, que oferece uma conceitualização do mundo alvo e fornece-nos uma fundamentação sólida no qual nós podemos construir bases de conhecimento compartilháveis com uma reusabilidade mais ampla do que aquela de uma base de conhecimento convencional. Com esta visão, Mizoguchi ainda argumenta que uma ontologia é algo conceitual para estruturar coisas que podem ser repartidas e reutilizáveis via semântica computacional. Ou, em outras palavras, uma ontologia é asperamente entendida em Ciência da Computação como um sistema de conceitos fundamentais representados de uma maneira compreensível pelo computador.

O fato é que *Engenharia Ontológica* tornou-se um sucessor da *Engenharia de Conhecimento* e é esperado que seja uma tecnologia chave na nova geração de *processamento de conhecimento*. A razão para este recente interesse na pesquisa e desenvolvimento de aplicações através do uso de ontologias é devido a dois aspectos: **(1)** Fornece-nos uma espinha-dorsal conceitual comum em que nós podemos desenvolver, compartilhar e reutilizar sistemas de conhecimento intesivo; e **(2)** Fornece-nos interoperabilidade de informação e fontes de conhecimento.

Mizoguchi chama esta evolução "De AI (*Artificial Intelligence*) a IA (*Intelligence Amplifier - Amplificador da Inteligência, Acesso a Informação ou Assistente Inteligente*)". Onde IA **não** é um solucionador de problema autônomo padrão que resolva problemas para você, mas um companheiro (parceiro) inteligente que invisivelmente permanece com você todo o tempo e lhe dá uma ajuda eficiente quando necessário.

Portanto, Engenharia Ontológica é uma metodologia que nos dá o raciocínio de projeto de uma base de conhecimento, uma conceitualização de núcleo do mundo de interesse, restrições semânticas de conceitos junto com teorias sofisticadas e tecnologias, capacitando acumulação de conhecimento que é indispensável para o processamento de conhecimento no mundo real.

Com efeito, o referido autor ainda considera alguns diferenças na finalidade de aplicação entre dois tipos de ontologias: **(1) Ontologia Orientada a Web Semântica** - que é um vocabulário compreensível ao computador que define significado de metadados e é usado principalmente para compreender *interoperabilidade semântica* entre recursos de informação com metadados, que tende a ser superficial, desde que não necessariamente discuta a profundidade da estrutura conceitual do mundo alvo; **(2) Ontologia Orientada a Conceitos** - lida com conceitos fundamentais com necessária consideração de profundidade do mundo alvo. Exemplos típicos incluem ontologia superior¹ (IEEE, 2006) e ontologia

¹Uma ontologia superior (upper ontology) é limitada por conceitos que são meta, genérico, abstrato e filosófico, e portanto são suficientemente gerais para endereçar (em um nível mais elevado) um amplo alcance de áreas de domínio. Os conceitos específicos de um dado domínio não serão incluídos; no entanto, este padrão fornecerá uma estrutura e um conjunto de conceitos gerais sobre aquelas ontologias de domínio (por exemplo, medicina, finanças, engenharia, etc.) pode ser construído.

funcional² (KITAMURA; MIZOGUCHI, 2003).

3.2.1 ONTOLOGIA: SURGIMENTO E DEFINIÇÕES

O termo "ontologia" surge em diversas áreas do conhecimento, nem sempre sob a mesma interpretação. A palavra ontologia vem do grego *ontos* (ser) e *logos* (palavra). Apesar do estudo do ser ter suas raízes nos estudos de Aristóteles e Platão, o uso do termo ontologia para designar este ramo da Filosofia é muito mais recente, tendo sido introduzido entre os séculos XVII e XVIII por filósofos alemães (MOREIRA, 2003).

O entendimento de ontologia na visão de Aristóteles exerce grande influência tanto na Ciência da Computação quanto na Ciência da Informação. Um dos ramos de pesquisas de Aristóteles está relacionado ao tratamento de Categorias, pelo qual ele apresenta dez categorias básicas para classificar tudo o que existe, revelando assim, a sua visão ontológica do mundo. Estas dez categorias são: *Substância*; *Quantidade*; *Qualidade*; *Relação*; *Lugar*; *Tempo*; *Ação*; *Paixão*; *Posição*; *Estado*. Um exemplo de utilização (figura 4) das categorias de Aristóteles é fornecido por B. Russell (2001), e descreve claramente o uso das categorias de Aristóteles em uma situação envolvendo Sócrates.

Substância	Sócrates
Qualidade	Filósofo
Quantidade	Cinco pés de altura
Relação	Amigo de Platão
Lugar	Na Ágora
Tempo	Ao meio-dia
Posição	De pé
Estado	Mal vestido
Ação	Conversando
Paixão	Sendo Insultado

Figura 4: Exemplo de relacionamento entre fatos e categorias

Uma representação hierárquica das categorias de Aristóteles na forma de árvore é mostrado na figura 5. Representação feita pelo filósofo Franz Brentano, que considerou as categorias como os nós folhas e cujos ramos são rotulados por termos retirados de trabalhos de Aristóteles.

²Para entender o conceito de *ontologia funcional* (*functional ontology*) considere o seguinte exemplo, sabe-se que projetistas de engenharia decompõe uma requerida função em sub-funções, assim chamada de decomposição funcional, usando um tipo de conhecimento funcional que representa relações de realização entre funções. Desta forma, *ontologias funcionais* de algum domínio do conhecimento visam capturar tal conhecimento funcional *explicitamente* fornecendo conceitos comuns para sua descrição consistente e genérica.

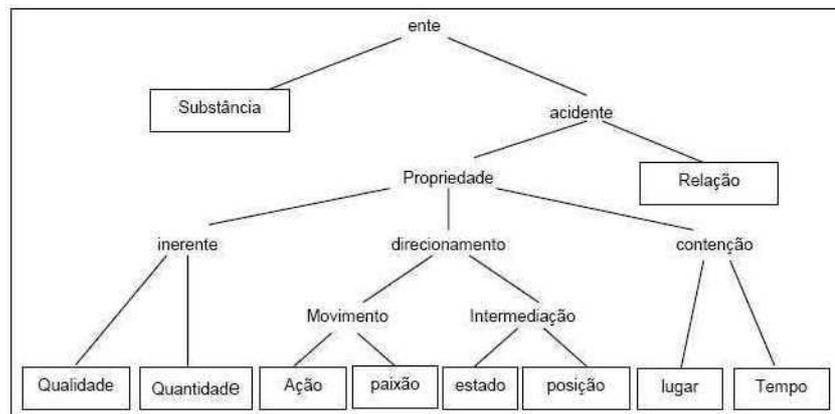


Figura 5: Árvore de Brentano para as categorias de Aristóteles (MOREIRA, 2003)

Aristóteles deixou sua contribuição e seu legado para gerações futuras. Com o advento da Ciência da Computação no século XX, o termo ontologia ressurgiu e vem sendo empregado e referenciado pelas comunidades de IA desde então. Neste sentido, e com uma grande preocupação em dar semântica para domínios de conhecimento, é que este ramo de pesquisa vem tomado corpo em pesquisas de representação de conhecimento.

Pode-se observar este interesse a partir da década de 90 com a criação de grandes bases de conhecimento compartilháveis e reutilizáveis. Entre as ontologias mais citadas estão as ontologias de Sowa e a Cyc, que visava o raciocínio de senso comum (CHANDRASEKARAN; JOSEPHSON; BENJAMINS, 1999). O fato é que para a concepção de ontologias de topo (figura 6) existem diferentes análises na escolha de conceitos mais gerais. Um raciocínio válido é que a elaboração de grandes ontologias visam ter um conhecimento generalizado acerca do mundo e possibilitar fazer inferências úteis e não apenas inferências específicas, típicas de um sistema especialista, que trabalha sobre um domínio restrito.

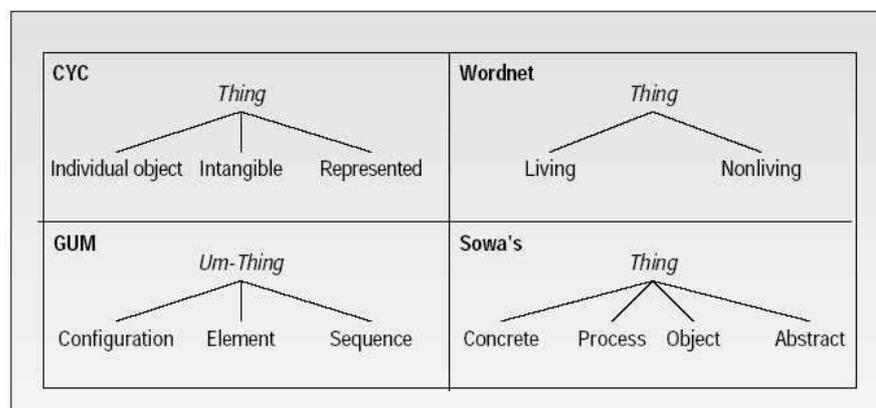


Figura 6: Diferentes análises na escolha de conceitos mais gerais em Ontologias de Topo

Com este enfoque de proporcionar conhecimento generalizado acerca do mundo, um outro projeto referenciado é a ontologia de topo *WordNet*, que mostra-se como um exemplo típico de uma ontologia lingüística que contém sinônimos, adjetivos e verbos relacionados por redes semânticas. Ontologias

lingüísticas são bastante referenciadas na literatura por sua aplicação em sistemas de processamento de linguagem natural, elas se propõem a atacar ambigüidades lingüísticas durante o tratamento sintático e semântico de textos.

Um outro grande interesse que vem motivando a comunidade científica para o uso de ontologias é a Web Semântica (ANTONIOU; HARMELEN, 2004). Este é um exemplo bem claro para a obtenção de semântica em páginas da web, onde o foco do problema está em extração de informações, levando a questionamentos de como encontrar o que se deseja na web, se os dados estão escondidos em arquivos HTML, e as informações só são para visualização das pessoas nas páginas web, impossibilitando inferir sobre estes dados, e sobre os links que estão relacionados. A proposta apresentada feita por Tim Berners-Lee (figura 7) mostra como este fato acontece e como solucioná-lo com a Web semântica, que trata de questões semânticas através do uso de ontologias.

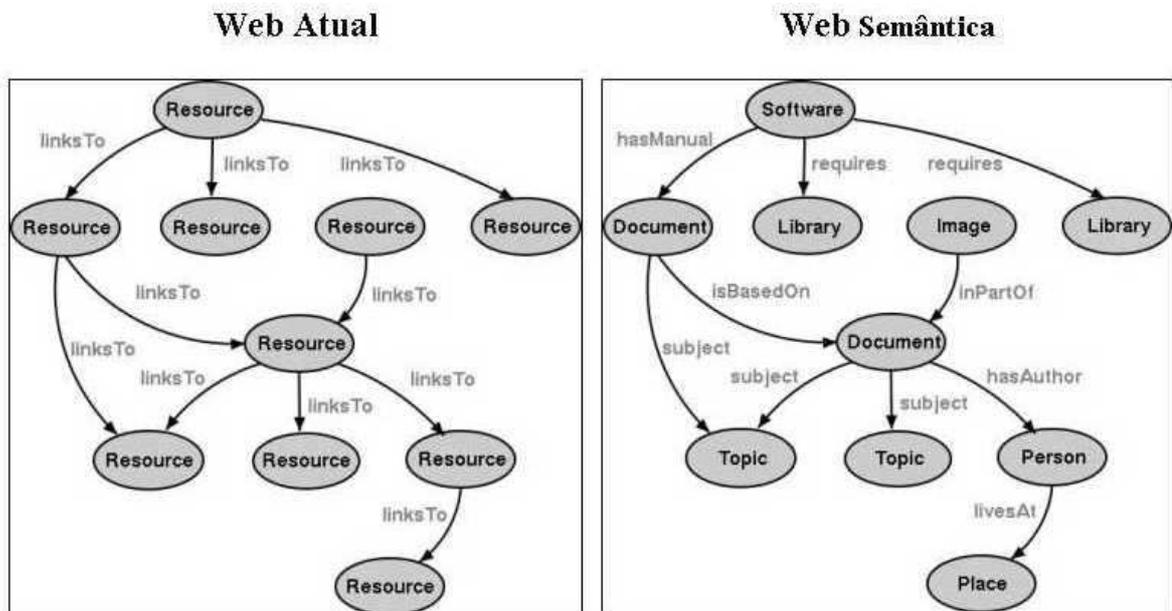


Figura 7: Ontologias uma proposta para a Web Semântica (MILLER, 2006)

Desta forma, vários autores tentam explicar e dar definições para o termo ontologia, e estas geralmente dão margem para várias interpretações. Em Moreira (2003) podem-se encontrar no anexo VII, treze definições possíveis que são frequentemente referenciadas na literatura da área da ciência da computação. A seguir, o termo ontologia é definido sob vários pontos de vista, e logo após uma definição composicional é dada:

1. **Em Filosofia**, significa teoria da existência. Tenta explicar o que é e como o mundo é configurado por introduzir um sistema de categorias críticas considerando coisas e suas relações intrínsecas (MIZOGUCHI, 2003).
2. **Do ponto de vista da IA**, Studer generaliza o conceito de Gruber e define da seguinte forma: "uma ontologia é uma especificação formal e explícita de uma conceituação compartilhada" (STUDER;

BENJAMINS; FENSEL, 1998). Assim, para cada termo desta definição tem-se a seguinte interpretação: *Formal* - processável por computador (compreensível para agentes e sistemas); *Explícito* - conceitos e restrições previamente definidos (conceitos, instâncias, relações, restrições, e axiomas); *Conceitualização* - trata-se de um modelo abstrato de uma área do conhecimento; *Compartilhado* - descreve um Conhecimento Consensual, que é aceito por um grupo (FREITAS, 2003).

3. **Do ponto de vista de Sistemas Baseado em Conhecimento**, é definida como "uma teoria (sistema) de conceitos/vocabulário usados como blocos de um sistema de processamento de informações" (MIZOGUCHI, 2003). Mizoguchi considera que em um contexto de resolução de problemas, ontologias são divididas em dois tipos: *Ontologia de Tarefa* para o processo de resolução de problema e *Ontologia de Domínio* para o domínio onde a tarefa é executada.
4. **Uma definição composicional é dada como segue** (MIZOGUCHI, 2003): Uma ontologia consiste de conceitos, organização hierárquica deles (*is-a*), relações entre eles (*is-a* e *part-of*), axiomas para formalizar as definições e relações.

3.2.2 FORMALISMOS DE REPRESENTAÇÃO DE ONTOLOGIAS

Conceitualmente, a explicitação de ontologias remete à idéia de utilização de planos ou camadas de representação, que visam distinguir formalmente "o mundo conceitual" do "mundo sensível". Criando-se uma relação entre Fenômenos do Plano Sensível e os conceitos do Plano Conceitual. Um exemplo para esta relação é apresentado na figura 8, onde pode-se perceber que no "Plano Conceitual" são identificados os conceitos que formam a concepção do domínio analisado e as respectivas associações semânticas entre eles. Já, o "Plano Sensível", percebe-se que é uma representação do mundo físico, caracterizado pelos conceitos percebidos pelos seres humanos, através de seus sentidos (visão, audição, paladar, tato e olfato).

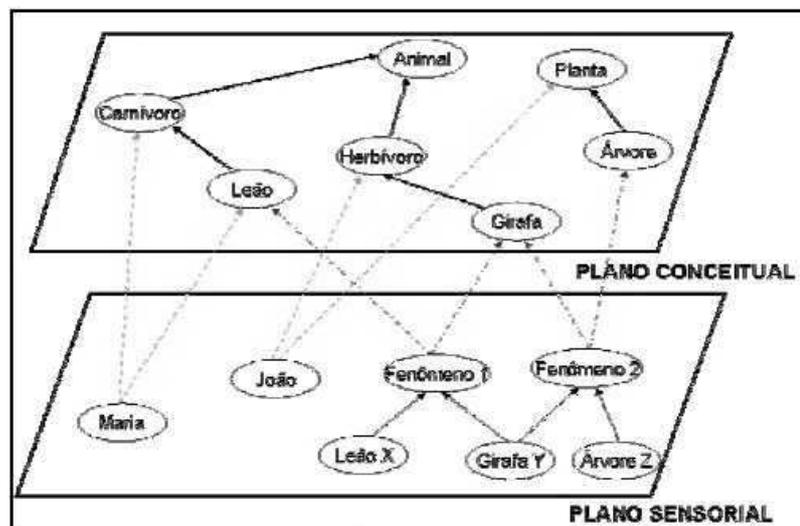


Figura 8: Planos de Representação (SOUSA, 2003)

Por sua vez, os formalismos utilizados para estruturar conhecimento em ontologias são os Orientados a Classes e Relações, que tratam de representar o conhecimento de forma declarativa, focando nas relações entre os objetos presentes em um domínio, como o uso de herança e especialização, criando uma taxonomia de classes, visando um melhor entendimento do domínio (FREITAS, 2003). Estes formalismos são: Redes Semânticas; Quadros (Frames); e Lógica de Descrições. Mizoguchi (2003) afirma que Esquemas de Banco de Dados Relacional também servem como ontologias pela especificação das relações que podem existir em alguns bancos de dados compartilhados e a integridade de restrições que estes devem assegurar.

Pode-se ainda considerar um esclarecimento referente à metodologia de desenvolvimento de uma ontologia e aquela de uma hierarquia de objetos e afirmar que elas são similares entre si no fluxo superior. No fluxo mais abaixo, no entanto, uma ontologia concentra-se em aspectos declarativos, e a orientação a objetos, em aspectos relacionados a desempenho. Assim, a diferença essencial entre as duas disposições em que a pesquisa de ontologia explora representação declarativa, enquanto o paradigma de OO, é essencialmente procedural. No paradigma de OO, os significados de classe, relações entre classes e métodos são proceduralmente embutidos e são implícitos. No paradigma de ontologia, por outro lado, descrições são feitas declarativamente e na maioria dos casos mantêm-se formalmente e explícitas (MIZOGUCHI, 2005).

Neste contexto de formalização, uma forte padronização é necessária para possibilitar uma boa aceitação de linguagens que tenham o propósito de representar formalmente ontologias. Nesta linha de pesquisa podemos citar: Ontolingua, RDF, OWL, etc (HOUBEN et al., 2005; MIKA, 2002), entretanto como o processo de formalização é bastante complexo, algumas ferramentas de autoria de concepção de ontologias já estão em uso, como exemplo de tais ferramentas podemos citar: OntoEdit, WebODE, Protégé, Hozo (KITAMURA; MIZOGUCHI, 2004).

Contudo, a proposta deste trabalho é elaborar uma explicitação de ontologias em um formato próprio para possibilitar um maior controle do ambiente a ser desenvolvido. Assim, para concretizar este propósito utilizaremos XML (*Extensible Markup Language*) que se tem mostrado como um bom candidato para a formalização de ontologias. XML é uma versão simplificada de SGML (*Standard Generalized Markup*) que é uma poderosa linguagem de marcação de definição de linguagens e que tem sido extensamente usada na descrição de documentos há vários anos. Uma das coisas boas em XML é incluir que usuários possam definir suas próprias *Tags* para indicar não somente informação estrutural sobre o documento, mas também informação semântica para vários usos do documento para habilitar interoperabilidade semântica (MIZOGUCHI; BOURDEAU, 2000).

3.2.3 TIPOS DE ONTOLOGIAS

Existem várias abordagens para a classificação de ontologias, e cada autor tem a sua visão de representação. Segundo Guarino, esta representação é especificada em camadas como as apresentadas na figura 9 (GUARINO, 1998, 2006), caracterizada pela exibição de níveis ontológicos, desde o mais genérico até o mais específico. Estes níveis ontológicos são:

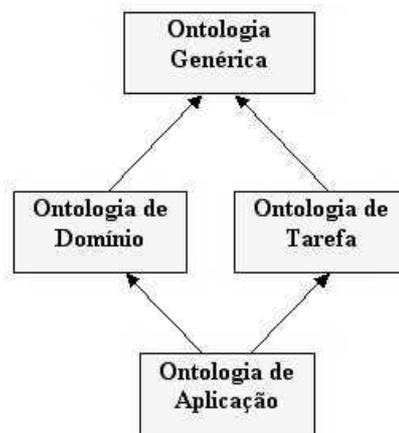


Figura 9: Tipos de Ontologias

Ontologia de Alto Nível [Genérica]: descreve conceitos gerais como espaço, tempo, assunto, objeto, evento, ação, etc, os quais são independentes de um problema ou domínio específico. Um bom exemplo de representação de conceitos mais genéricos, em um nível conceitual mais elevado, pode ser visualizado na figura 10, que representa uma ontologia do universo.

Ontologia de Domínio/Tarefa: descreve o vocabulário relacionado ao domínio genérico (exemplo: medicina, automóvel), ou uma tarefa/atividade genérica (exemplo: diagnóstico, venda), especializando os termos introduzidos na ontologia de alto nível.

Ontologia de Aplicação: descreve conceitos dependendo de um *domínio e tarefa específicos*, os quais são frequentemente especializações das ontologias relacionadas.

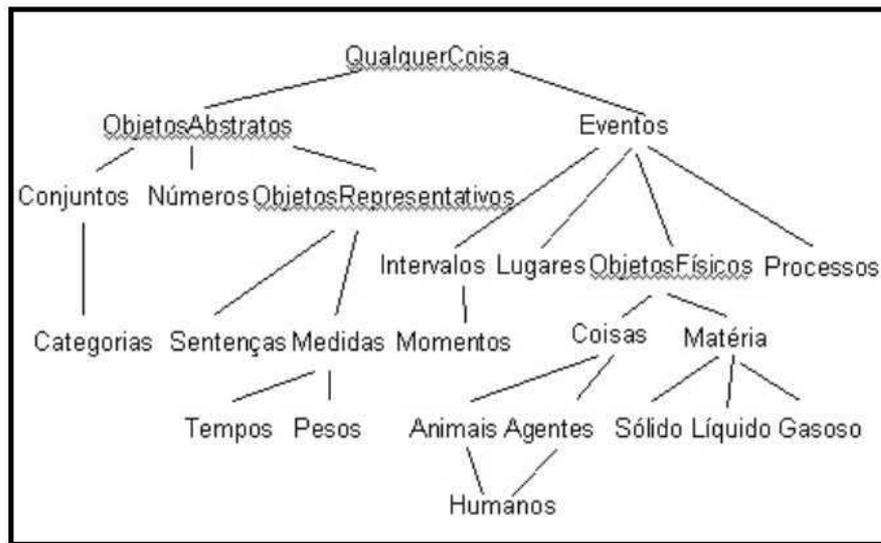


Figura 10: Ontologia do Universo (RUSSEL; NORVING, 2003)

Esta classificação é bastante relevante quando se pensa em reuso do conhecimento, pois podemos considerar que na fase de desenvolvimento de uma ontologia já exista um nível mais acima já especificado, e que esteja disponível para reuso, tendo então apenas que estender os níveis mais abaixo, se necessário com algumas adaptações.

3.2.4 AS DIVERSAS APLICAÇÕES DE ONTOLOGIAS E SEU USO NA EDUCAÇÃO

O campo de aplicação para o uso de ontologias é bem amplo (GARGANTILLA; GÓMEZ-PÉREZ, 2004), abaixo citamos algumas áreas e uma breve citação sobre alguns projetos:

- Na área de *Gestão de Conhecimento*, pode-se citar o projeto *PatMan* (GARGANTILLA; GÓMEZ-PÉREZ, 2004) que visa atender a área de saúde, tratando de questões médicas e administrativas no gerenciamento de pacientes.
- Na área de *Comércio Eletrônico*, foi desenvolvido o projeto *MKBEM* (GARGANTILLA; GÓMEZ-PÉREZ, 2004), que proporciona habilidades multilingüísticas ao fluxo de informação em portais B2B (Business-to-consumer), permitindo manutenção semi-automática de catálogos de produtos, tradução automática e interpretação da linguagem natural nas requisições dos usuários.
- Na área de *Processamento de Linguagem Natural*, pode-se citar o projeto *Gazelle* (ALMEIDA, 2006), que traduz textos em japonês, árabe e espanhol para o inglês, incluindo processamento e análise semântica das línguas, geração de sentenças em inglês, construção de ontologias interlín-gua e criação de léxicos para japonês, árabe, espanhol e inglês.
- Na área de *Recuperação de Informação na Web*, existe o projeto *WebKB-2* (ALMEIDA, 2006), que

visa permitir aos usuários da Web recuperar e adicionar conhecimento em uma base compartilhada, com recursos de publicação de informações automaticamente recuperáveis e comparáveis com as de outros usuários.

- *Com relação a projetos relacionados à educação, pode-se citar: (1) O projeto RichODL (ALMEIDA, 2006), que é um ambiente de aprendizado na Web desenvolvido para treinar estudantes na modelagem e simulação de ambientes dinâmicos, assim neste projeto ontologias são usadas para descrever o domínio físico dos sistemas modelados, além de suas correlações; (2) Um outro projeto que é considerado ambicioso é o CIPHER Project (MULHOLLAND; ZDRAHAL; COLLINS, 2002), que visa possibilitar a interligação de comunidades virtuais na Web com o propósito de promover fóruns de herança cultural, onde uma comunidade tem o foco em um específico tema ou interesse, podendo navegar ou construir narrativas sobre o tema ou o interesse que está sendo discutido. Por sua vez, para a realização deste ambiente, existe uma necessidade de disponibilizar ferramentas que possibilitem a construção de teorias narrativas para motivar o desenvolvimento de apresentações coerentes. Narrativa, neste contexto, é definida como uma forma particular no qual uma história é contada. E uma história é um espaço conceitual, que representa eventos, pessoas e objetos, que pode ser contada em um grande número de formas e criar diferentes efeitos como humor ou surpresa. Assim, narrativas específicas são adequadas a diferentes padrões estruturais e, segundo Schank (1998), padrões de **esqueletos de histórias** podem ser usados para construir uma narrativa particular de uma história, onde estes padrões descrevem associações conceituais feitas na narrativa. Além disso, narrativas têm que apresentar uma série de **relacionamentos causais** para poder dar sentido a uma série de eventos dentro da história narrada.*

Como visto, o campo de aplicação de ontologias é bastante amplo, e a Engenharia Ontológica joga um papel bastante importante no progresso de pesquisa de conhecimento na pesquisa em AI-ED, que tem diversos campos relacionados: Inteligência Artificial, ciência da computação, ciência cognitiva, ciência da aprendizagem, ciência educacional, ciência instrucional, etc (MIZOGUCHI, 2005).

Por sua vez, em STIs, pode-se entender que uma ontologia é algo que nos fornece uma estrutura conceitual comum, uma conceitualização para reconstruir teorias e explicar as razões por que uma teoria pode ou não pode trabalhar para algumas situações. Como resultado desta utilização, pode-se encontrar algumas aplicações de ontologias em ambientes de autoria para educação. Por exemplo, como no Planejamento Instrucional (*Insructional Design*) em alguns projetos desenvolvido por Mizoguchi e colaboradores (KASAI; YAMAGUCHI; MIZOGUCHI, 2003a, 2003b; BOURDEAU; MIZOGUCHI, 2002).

3.3 RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS

As pessoas costumam relacionar acontecimentos através do uso de analogia para a solução de novos problemas que exijam experiência anterior. Quando colocadas em situações familiares, são capazes de fornecer respostas sofisticadas e robustas a problemas com suficiente semelhança a problemas ocorridos no passado. Vários autores chamam este raciocínio a partir da experiência de *Raciocínio Baseado em Casos (RBC)* (SILVA, 1998).

O raciocínio baseado em casos é uma abordagem para *resolução de problemas* que cai sob a categoria mais geral de raciocínio por analogia. Usamos analogia freqüentemente para explicar um conceito ou a nossa razão para tomar decisões. Analogia pode ajudar-nos a procurar a resposta para um problema, ou explicar como ou por que tomamos certas decisões, ou prover exemplos para explicar conceitos (MAHER; BALACHANDRAN; ZHANG, 1995).

Desta forma, analogia desempenha um papel importante para compreender o mundo ao nosso redor. Sua aplicação à *resolução de problemas* é uma metodologia recente que teve origem no trabalho desenvolvido por Schank e Abelson em 1977, que em muitos aspectos diferem da forma fundamental de outros enfoques da Inteligência Artificial. Em vez de se basear unicamente em *conhecimento generalizado* acerca de um domínio de problemas ou de realizar associações lógicas ao longo de relacionamentos abstratos entre descritores de problemas e conclusões, RBC é capaz de utilizar o *conhecimento específico* de solução de problemas concretos, experimentados anteriormente, denotados como casos.

3.3.1 ORIGEM E FUNCIONAMENTO DO RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS

A teoria do raciocínio por caso foi formulada a partir da teoria dos *scripts*. De acordo com esta teoria, há um conhecimento experimental que é armazenado numa estrutura de memória que se chama MOP (*Memory Organisation Packet - Pacotes de Organização de Memória*) (SCHANK, 1998). Estes pacotes são meta-scripts (ou seja, dos *scripts* que são mais genéricos). Por exemplo, um *script* que descreve uma típica ida a um restaurante pode ser descrito pelo *script* "cliente vai ao restaurante", que pode ser modelado computacionalmente através de um conjunto de ações sempre esperado quando vamos a um restaurante.

Desta forma, o conhecimento geral acerca de situações fica armazenado na memória como *scripts* que permitem que nós construamos expectativas sobre resultados esperados de ações que planejamos e que façamos inferências sobre relacionamentos causais entre ações (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2001).

Baseado na idéia de MOP, a teoria do raciocínio por caso tenta explicar os processos básicos da memória: indexação, recuperação e reutilização de casos. Casos, em uma base de casos, representam

experiências concretas vividas em uma situação específica. Tipicamente são representados com uma descrição de uma situação (problema) conjuntamente com as experiências adquiridas (solução) durante a sua resolução, sendo visto como uma associação dos dois conjuntos de informações: descrição do *problema* e respectiva *solução*. Podendo ainda conter os efeitos da aplicação da solução ou a justificativa para aquela solução e sua respectiva explicação.

Desta forma, quando constatamos a diferença entre as nossas situações e um acontecimento, temos algo a aprender. Portanto, o mecanismo para alterar o conhecimento exige uma explicação. A teoria do raciocínio por caso propõe explicações padrão (PARAGUAÇU, 1997).

Assim, explicações padrão são geradas a partir do ciclo de RBC. O modelo mais aceito para o processo que representa o ciclo de RBC é proposto por Aamondt e Plaza, que engloba um ciclo de raciocínio contínuo composto por quatro tarefas principais como apresentado na figura 11.

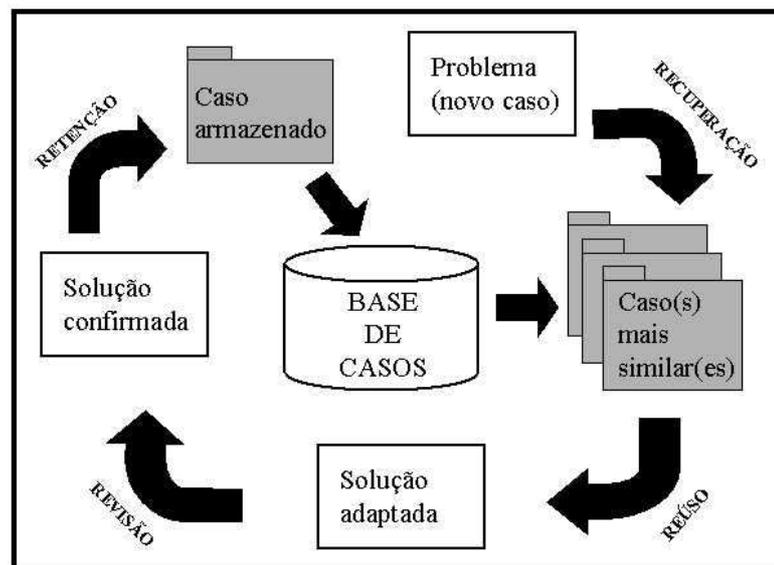


Figura 11: Ciclo do Raciocínio Baseado em Casos (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2001)

Este processo consiste em introduzir uma busca para um novo problema na base de casos, assim a primeira etapa consiste em **recuperar** o(s) caso(s) mais similar(es); a segunda etapa consiste em **reutilizar** este(s) caso(s) para resolver o problema; a terceira em **revisar** a solução proposta; e a quarta em **reter** a experiência representando o caso atual (ou partes desta experiência) para reutilização futura.

A forma de obtenção de similaridade entre os casos é um processo realizado por meio de uma *medida de similaridade*, que define como será calculada a similaridade entre a situação atual e um determinado caso na base de casos. O processo consiste em pesquisar todos os casos e depois ordenar os casos mais similares que contém a solução em potencial para o problema presente.

Com efeito, em uma base de casos, os casos armazenados incluem índices que são rótulos e designam situações pelo qual os casos são utilizáveis. Quando procura-se uma solução para um novo problema, deve-se procurar um caso similar por intermédio dos índices escolhidos pelo usuário. Se

situações similares são encontradas pode-se a partir da situação recuperada chegar a uma nova solução. Se não há situação similar para a situação atual, temos uma situação de insucesso. Após um insucesso, é necessário classificar esta nova situação. Esta situação contribui para a aprendizagem. Este processo é chamado de aprendizagem dirigida por insucesso (PARAGUAÇU, 1997).

Portanto, numa situação de aprendizagem, para mostrar saber quais são as relações entre o problema atual e um problema já bem sucedido (casos) é importante utilizar as soluções do passado. Em situação de insucesso, na resolução de um problema, uma explicação (ou uma história) que mostra a maneira correta de resolver o problema é essencial para a aprendizagem (SCHANK, 1996).

Desta forma, em um sistema de RBC, raciocínio e aprendizado estão intimamente ligados (WANGENHEIM; WANGENHEIM, 2001). Toda vez que um problema é resolvido, a nova experiência pode ser retida e integrada na base de casos, tornando-a imediatamente disponível para problemas futuros. Este ciclo raramente ocorre sem intervenção humana (KOSLOSKY, 1999). A revisão ou adaptação geralmente são feitas pelos administradores da base de casos.

Pode-se afirmar que é possível construir dois tipos de sistemas de raciocínio por casos (PARAGUAÇU, 1997): (1) Sistemas que recorrem apenas à indexação e à recuperação dos casos e interagem diretamente com o utilizador, compartilhando esta responsabilidade com este para resolver o problema. Assim, o sistema encarrega-se da recordação e o utilizador encarrega-se da adaptação; (2) Sistemas que resolvem o problema de maneira automática e executam todo o processo de raciocínio, recebendo algumas interações sobre as suas decisões.

3.3.2 IMPORTÂNCIA DE CASOS NA EDUCAÇÃO

No enfoque educacional, Schank considera que um dos métodos que podem contribuir para a educação é a Aprendizagem Baseada em Casos. O propósito é fazer com que os alunos não sejam meros aplicadores de regras pré-estabelecidas, mas que eles possam buscar analogias, aplicá-las e tentar explicar suas próprias regras de decisão (KOSLOSKY, 1999).

Em educação, casos podem ser explorados como situações a serem apresentadas aos estudantes para que estes tentem encontrar soluções adotadas anteriormente em problemas semelhantes. Estas situações podem ser exploradas a partir de uma grande biblioteca de experiências passadas, onde o estudante pode sintetizar casos similares e aplicar sua escolha na nova solução, como também fornecer as explicações que motivaram a sua escolha. Com isso, novos conhecimentos podem ser adquiridos. Estes aspectos fazem com que o uso de casos seja interessante como uma ferramenta no processo de ensino/aprendizagem.

Como resultado de aplicação em educação, o raciocínio por caso tem sido utilizado de um ponto de vista *tutorial* em três direções (PARAGUAÇU, 1997): (1) Como um sistema de resolução automática ou semi-automática de casos; (2) Como uma ferramenta para motivar o aluno e contar-lhe histórias; (3)

Como uma ferramenta de comparação sobre as semelhanças que existem entre duas situações.

3.3.3 HISTÓRIA COMO ANALOGIA PARA A EDUCAÇÃO POR CASOS

Partindo da possibilidade de um projeto de um *Ambiente de Descoberta* (seção 2.3.2), consideramos a *analogia através de histórias* como uma forma viável de apresentar explicações para o aluno na compreensão de uma situação em que ele se encontra.

Assim, para dar sustentação a nossa argumentação, faz-se necessária ainda uma pequena introdução sobre os vários contextos de narrações de histórias, como também explicar como histórias podem ser usadas para o ensino baseado em casos.

3.3.3.1 OS VÁRIOS CONTEXTOS DE NARRAÇÕES DE HISTÓRIAS

As histórias são os meios pelos quais os seres humanos conseguem obter significado das suas experiências da temporalidade, e de suas ações pessoais (SCHANK, 1998). Culturas mantiveram sua existência através de diferentes tipos de histórias - mitos, contos de fadas e história. Humanos parecem ter uma habilidade inata e predisposição para organizar e representar suas experiências na forma de histórias. Assim, para ser parte de uma cultura, é necessário estar conectado às histórias que fazem parte desta cultura.

O ato de contar histórias, ou seja, a narrativa é entre outras coisas, um método de negociar e renegociar significados que nos permitem entrar em outros domínios de significados pelas mensagens que as histórias expressam. Assim, a narrativa nos ajuda a encontrar o nosso lugar em uma cultura e compartilhar a nossa diversidade humana, como também ajuda-nos a aprender e a conservar a memória, além de nos permitir explicar o que nós somos e o que fazemos, como também interpretar o que são e o que fazem as outras pessoas, podendo, assim, compreender a ação humana, a intencionalidade e temporalidade por facilitar o entendimento dos acontecimentos passados da vida, possibilitando planejar ações futuras. Por outro lado, o ato de contar histórias ainda ajuda-nos: a lembrar de eventos raros, como um incidente traumático, ou uma memória agradável; a construir argumentos persuasivos; sem falar em ganhar experiências de forma indireta; como também articular nossa identidade.

Contudo, tradicionalmente, histórias não são aceitas como uma forma de exposição científica por não ser objetiva o suficiente em termos de exposições lógicas, impossibilitando aplicar provas formais, podendo cometer erros de ambigüidades de raciocínios e ser demasiadamente dependente do contexto e voz (JONASSEN; SERRANO, 2002). Por outro lado, histórias são uma forma de narrativa de explicação preferida por pessoas comuns em resolução de problemas.

Recentemente, a narrativa começou a ter um papel mais importante, pelo menos dentro das ciências sociais, sendo o resultado de uma mudança de paradigma dentro das disciplinas sociais tais como:

Psicologia Cognitiva, Lingüística, Filosofia, Teoria Literária, Educação, Antropologia, História, entre outras, começando a ser aceita em abordagens de interpretações em pesquisa como meio legítimo de entendimento, com uma nova preocupação em querer "fazer-sentido" (*meaning-making*) na construção e negociação de significado numa comunidade, particularmente com o papel que a narrativa assume neste processo que, segundo Polkinghorne, é importante porque histórias "*funcionam para organizar elementos da consciência em episódios significativos*".

Sendo assim, considerar a influência de histórias como forma de explicações técnicas em comunidades de trabalho é uma realidade. Desta forma, pode-se afirmar que profissionais preferem trabalhar com conhecimento narrativo quando solicitados a fornecer explicações e utilizam histórias de casos para explicar e entender o comportamento das pessoas quando executam uma tarefa. Assim, narrativa representa e substitui experiência primária, promovendo um debate progressivo de vários assuntos que envolvem o trabalho profissional, fortalecendo os laços entre profissionais na busca de resoluções de problemas.

Portanto, transmitir o conhecimento para profissionais em comunidades de trabalho exige lidar com situações de complexidade de narrativas (ou histórias, ou casos), que por sua vez, frequentemente são situações de resolução de problemas mal estruturadas. A solução é manter uma biblioteca de casos com experiências passadas de profissionais para dar suporte ao aprendizado na forma de suporte institucional. Desta forma, acredita-se que histórias servem como uma forma de analogia de casos passados e que são usadas para promover habilidades de resolução de problemas, pelo qual o processo de ouvir e relatar histórias é importante para a aprendizagem.

3.3.3.2 O ENSINO BASEADO EM CASOS

A humanidade sempre dependeu de histórias para a educação das pessoas, e segundo Schank "*os bons professores são bons contadores de histórias*". Baseado no ensino através de histórias, Schank definiu uma abordagem de *ensino baseado em casos* ("*Case-Based Teaching*").

Sua abordagem é fundada sobre duas hipóteses (SCHANK, 1991). A primeira é que os especialistas têm muitos casos armazenados na sua memória. A segunda é que, no processo de ensino, o especialista (professor) deve mostrar o caso no momento em que o aluno é fundamentado para considerá-lo. O processo de concepção de um sistema baseado nesta abordagem é: (a) a construção de uma base de casos e (b) a criação de uma situação que pode ser interessante para estudar o caso proposto.

Para construir um sistema efetivo baseado na teoria do ensino por caso, deve-se considerar que ele deve estar habilitado para responder quatro questões (SCHANK, 1991 apud PARAGUAÇU, 1997):

1. Quais são as situações que conduzem o aprendiz a ser motivado para examinar um caso?
2. Como detectar, a partir do fato de que o aprendiz está a fazer algo, quais são os casos relevantes para ele?
3. Como encontrar um caso relevante na base de casos?
4. Como formular um caso sob forma de história interessante para o ouvinte?

Aprender com os erros também faz parte desta abordagem pois, a partir do erro cometido, pode-se obter um aprendizado. Conseqüentemente, tal falha não ocorrerá novamente se o aluno aprender a entender a própria falha, buscando alternativas de solução para não mais falhar. Assim, em resumo, pode-se apresentar o ensino por caso pelas seguintes propostas:

1. Apresentar uma situação interessante ao estudante.
2. Permitir que o estudante cometa uma falha e tenha uma frustração.
3. Ter uma história pronta para contar relativa ao que o estudante fez de errado.
4. Contar uma história quando solicitado pelo aprendiz.

3.4 CASOS E ONTOLOGIAS COMO MECANISMO DE SUPORTE PARA AJUDAR NO RACIOCÍNIO CIENTÍFICO

Antes de descrevermos o modelo e a arquitetura que será proposta no capítulo 5, esclareceremos alguns pontos essenciais para o entendimento desta arquitetura. Em primeiro lugar, será mostrado como é possível realizar o Suporte ao Raciocínio Científico com o uso de casos. Para então, fazemos algumas considerações sobre a possibilidade deste suporte com o uso de Ontologias.

3.4.1 O USO DE CASOS NO RACIOCÍNIO CIENTÍFICO

Sabe-se que o raciocínio científico envolve o uso de habilidades científicas, práticas e conhecimento de domínio na resolução de problemas em ciência (OWENSBY; KOLODNER, 2004). Muita pesquisa tem sido feita para entender como estudantes podem desenvolver habilidades de raciocínio científico como especialistas (KUHN, 1993) (SCHAUBLE et al., 1995), e muita pesquisa tem sido feita para promover mais o uso destas habilidades em ambientes educacionais (BELL; DAVIS, 2000; REISER et al., 2001).

Há evidências de que cientistas usam casos extensamente em seu raciocínio (OWENSBY; KOLODNER, 2004). Por exemplo, ao tentar resolver um novo problema, cientistas recorrem a experiências passadas para analisar uma série de resultados inesperados e estabelecer ligações que possam explicar o novo problema (BLANCHETTE; DUNBAR, 2001).

Aplicação de casos é o processo de interpretar, analisar e aplicar experiências passadas para solucionar os desafios na resolução de novos problemas. Pode-se observar o uso desta experiência em profissionais como advogados, médicos, e arquitetos que recorrem constantemente aos casos passados para apresentar novas soluções. Assim, o raciocínio Analógico tem sido reconhecido por muito tempo como aspecto importante do raciocínio científico.

Contudo, em ambientes educacionais, é frequentemente difícil dar suporte para estudantes na tentativa de adquirir e realizar os processos de raciocínio especialista (OWENSBY; KOLODNER, 2004). Engajado neste desafio, sabe-se que para se ensinar a raciocinar cientificamente precisa-se saber o que um cientista faz e o que ele produz (HEGENBERG, 1973).

É notório que cientistas realizam pesquisas através de experimentos, comparações, simulações em laboratório e, como resultado, apresentam teorias científicas, que são publicadas na forma de artigos, livros e em outros meios de divulgação (PARAGUAÇU et al., 2003). Sabe-se, portanto, que no meio científico é usual a utilização de explicações na forma de classificação de objetos de estudo, através da obtenção de relacionamentos entre eles de forma causal, ou por meio de esclarecimento de dúvidas referentes aos questionamentos gerados por outros cientistas.

Assim, em uma abordagem de ensino e aprendizagem Baseada em Problemas, é comum para o cientista como para o aprendiz a explicitação do raciocínio científico através de ontologias (PARAGUAÇU et al., 2003).

3.4.2 APRENDIZAGEM DO RACIOCÍNIO CIENTÍFICO COM O USO DE ONTOLOGIAS

O conceito de ontologias gera várias interpretações. Entende-se resumidamente que ontologias são representações semânticas formais de algum domínio do conhecimento, e de acordo com Paraguaçu et al. (2003) cientistas elaboram conjuntos de ontologias em *modelos científicos*³, e estes modelos podem ser estruturados em algum formalismo, tal como XML (W3SCHOOLS, 2005b) para representar *teorias científicas* de algum domínio do conhecimento. Particularmente, entende-se que uma *teoria científica* pode ser representada por um *sistema axiomático* (como descrito na seção 4.6), e esta pode ser especificada em um *modelo científico* formalizado por quatro arquivos XML que representam quatro visões de conhecimento (PARAGUAÇU et al., 2003): visão hierárquica, visão relacional, visão causal, e de visão de questionamento.

³Para entender o que são *modelos científicos* deve-se ler a seção 4.5.

Com efeito, *explicações científicas*⁴ formuladas em ambientes de *comunidades virtuais científicas* (PARAGUAÇU et al., 2003) podem ser armazenadas em *modelos científicos* e podem representar *conhecimento consensual*⁵ de um grupo de cientistas, pois são elaboradas de forma colaborativa e representam uma modelagem ontológica de algum domínio do conhecimento. Neste sentido, ontologias servem de mecanismo para a *formalização de teorias científicas*⁶ em *modelos científicos*.

Esta afirmação decorre do fato de que se pode estruturar conhecimento em ontologias, através do uso de relações binárias (ANTONIOU; HARMELEN, 2004): <Sujeito-Predicado-Objeto>. Que na realidade é uma forma especializada de rede semântica <Objeto-Atributo-Valor> (AZAMBUJA, 1992). Para tanto, Paraguaçu et al. (2003) apresentam estas *relações* na *visão relacional* do modelo MIDES (*Model Interactif de DEcouverte Scientifique*), como: <Objeto1-Relação-Objeto2>.

Com isso, Paraguaçu et al. (2003) procuram estabelecer os relacionamentos existentes entre os *conceitos* que são definidos na *visão hierárquica* do modelo MIDES, por intermédio da *visão relacional*. Por sua vez, com a *visão hierárquica* é possível categorizar ontologicamente (em classes e objetos) os *conceitos* de algum mundo fechado. E por intermédio destes *conceitos* definir um *modelo de domínio* por declarações de *sentenças* na *visão relacional*. Estas declarações seguem o formato estabelecido em triplas <Objeto1-Relação-Objeto2>. Assim, estas triplas que foram definidas representam uma *rede semântica*. E cada declaração (tripla) representa um *axioma* (verdade que foi estabelecida e não exige demonstração) para aquele domínio de conhecimento que está sendo modelado.

Como resultado desta representação pode-se utilizar os *axiomas* que foram definidos na *visão relacional* para gerar um encadeamento de *hipóteses* na *visão causal* do modelo MIDES. As *hipóteses* que são representadas nesta visão são os *teoremas* (verdades estabelecidas a partir dos axiomas). E em cada *hipótese* que for gerada é possível ter dois *axiomas*, um para representar uma *causa* de um evento e o outro para representar o *efeito* referente a causa que foi estabelecida.

Sendo assim, neste desafio de formalização, mecanismo semelhante é utilizado para a *visão de questionamento*, que serve para armazenar *perguntas* e *respostas* sobre dúvidas que os cientistas têm durante o processo de construção de uma *teoria científica*. Desta forma, um questionamento tem uma *pergunta* que é representado por um *axioma*, e para esta pergunta tem uma *resposta* que também assume a forma de um *axioma*.

Acrescenta-se, que neste contexto de formulação de teorias científicas a literatura tem referenciado que cientistas em suas pesquisas costumam utilizar alguns mecanismos cognitivos para o desenvolvimento do pensamento e do raciocínio científico⁷, estes mecanismos cognitivos são (HOLYOAK; MORRI-

⁴Para entender como cientistas realizam *explicações científicas* deve-se ler a seção 4.4.

⁵Modelos Científicos representam conhecimento consensual porque são elaborados de forma colaborativa, e representam uma modelagem ontológica de algum domínio do conhecimento.

⁶Para ter uma visão geral da elaboração de *teorias científicas* como *sistemas axiomáticos*, deve-se ler a seção 4.6.

⁷No próximo capítulo serão dados maiores detalhes sobre os assuntos tratados neste parágrafo.

SON, 2005): *indução, dedução, analogia, resolução de problemas, e raciocínio causal*. Neste sentido, este trabalho assume que, para simular computacionalmente um *ambiente de descoberta*, deve-se elaborar um *modelo de aprendizagem por descoberta*⁸ que possa agregar estes mecanismos citados pela literatura para que seja possível proporcionar ao aprendiz um acréscimo na forma de raciocinar cientificamente.

Por outro lado, mas neste contexto ainda, sabe-se também que uma das formas promissoras de se ensinar ciência é através do uso de metáforas (MARTINS; OGBORN; KRESS, 1999) na utilização do vocabulário em ciência. E que a utilização de fábulas pode aprimorar a habilidade de aprendizagem através do processo de criação de histórias.

Portanto, assume-se neste trabalho que durante a elaboração de histórias, o aprendiz deve ser capaz de criar relações entre objetos que estão organizados hierarquicamente, estruturando assim o conhecimento em um conjunto de ontologias, da mesma forma, como cientistas estruturam o conhecimento em ciência (PARAGUAÇU et al., 2003). Afirma-se aqui que esta idéia é sustentada pelo fato de que "*psicólogos têm notado que a memória deve ser organizada hierarquicamente porque certas informações parecem ser armazenadas em torno de conceitos gerais que ajudam a entender conceitos subordinados*" (SCHANK, 1998).

Desta forma, o *ambiente de descoberta* que será proposto, deve além de proporcionar os mecanismos usuais de raciocínio científico (indução, dedução, analogia, resolução de problemas, e raciocínio causal), também deverá proporcionar a utilização da *metáfora* entre *histórias* e *teorias científicas* para ficar subentendido como usualmente aplicamos o *vocabulário em ciência* no processo de criação de teorias, pois entendemos que os bons professores são também bons contadores de histórias (SCHANK, 1998), e ao reconstruir teorias no ato de transmitir o assunto para os alunos, o professor está reconstruindo uma história em sua memória.

3.5 CONCLUSÃO

Diante desta explanação realizada neste capítulo sobre *ontologias* e sobre o *ensino baseado em casos* foram dadas as bases teóricas iniciais para prosseguir com o objetivo principal deste trabalho que é a elaboração de *ambiente de descoberta*.

Porém, algumas questões de interesse não foram respondidas neste capítulo, estas questões são: Como cientistas e não cientistas utilizam os mecanismos cognitivos (indução, dedução, analogia, resolução de problemas, e raciocínio causal) para desempenharem o pensamento e o raciocínio científico? Como é possível formular explicações científicas? Como formular teorias científicas axiomáticas? Como a literatura referencia a construção de modelos de aprendizagem por descoberta? Como ela-

⁸O fato mencionado aqui da possibilidade de elaboração de um *modelo de aprendizagem por descoberta* será melhor compreendido após a leitura do próximo capítulo.

borar um modelo de aprendizagem por descoberta por intermédio de ontologias e do ensino baseado em casos? Como uma arquitetura para um ambiente de descoberta pode integrar duas aplicações (a primeira para uma comunidade de cientistas que desejam documentar teorias científicas e a segunda para aprendizes em ciência que desejam aprender através da simulação como formular uma teoria científica) por intermédio de um modelo de aprendizagem por descoberta? Como formalizar o modelo de aprendizagem por descoberta idealizado? Como é possível desenvolver o ambiente de descoberta proposto para que seja possível elaborar uma teoria inicial (pela comunidade de cientistas - professores) e a partir desta elaborar uma teoria nova (pelo aluno aprendiz em ciência)?

Estas questões que foram levantadas são importantes para este trabalho e deverão ser explicadas nos próximos capítulos. Afirma-se que, o que foi explicado até este momento servirá para a construção do modelo de aprendizagem por descoberta que será proposto no capítulo 5, e formalizado no capítulo 6. Para então, uma posterior integração deste modelo com o desenvolvimento do ambiente de descoberta que será realizado no capítulo 7. Desta forma, prosseguiremos no próximo capítulo com a *fundamentação teórica* sobre "os pressupostos para formação de teorias e descoberta em ciência", que providenciará responder grande parte destas questões que foram levantadas.

4 OS PRESSUPOSTOS PARA FORMAÇÃO DE TEORIAS E DESCOBERTA EM CIÊNCIA

Este capítulo pretende apresentar os *"Fundamentos para Elaborar um Modelo Computacional de Aprendizagem por Descoberta no Contexto de Formalização de Teorias Científicas"*. Este modelo será apresentado no próximo capítulo, juntamente com a *"Arquitetura do Ambiente de Descoberta"* que tornará viável este projeto. Para esta realização, procura-se esclarecer alguns conceitos de forma sucinta neste capítulo, mas que são de grande importância para este entendimento.

4.1 INTRODUÇÃO

Para podermos propor um *"modelo de aprendizagem por descoberta no contexto de formalização de teorias científicas"*, torna-se necessário entendermos qual é o universo da ciência, bem como de que forma os cientistas raciocinam para realizar novas descobertas científicas, como também de que forma a literatura referencia a possibilidade de *"formalizar uma linguagem científica artificial axiomática representada por um cálculo abstrato interpretado para a construção de teorias científicas"*. Para então, considerarmos a possibilidade de realizar aprendizagem por descoberta em ambientes computacionais. Desta forma, pretende-se dar uma visão geral sobre tais assuntos, neste capítulo, tornando assim viável a proposta de um modelo computacional para tal desafio.

4.2 O UNIVERSO DA CIÊNCIA

Marconi e Lakatos (2003) definem Ciência como *"uma sistematização de conhecimentos"*, ou seja, ciência é *"um conjunto de proposições logicamente correlacionadas sobre o comportamento de certos fenômenos que se deseja estudar"*. Figurativamente o *"universo da ciência"* é constituído de três níveis: no primeiro, ocorrem as observações de fato, fenômenos, comportamentos e atividades reais; no segundo, encontramos as hipóteses; finalmente no terceiro surgem as teorias, hipóteses válidas e sustentáveis (esquemáticamente mostrado na figura 12).

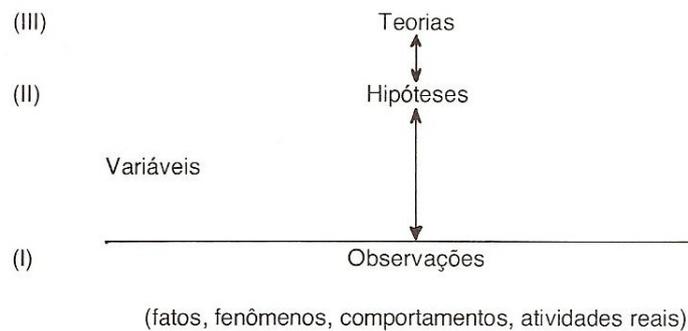


Figura 12: Universo da Ciência (MARCONI; LAKATOS, 2003)

Neste universo sabe-se que uma hipótese é um enunciado geral de relações entre variáveis (fatos, fenômenos), que se propõem, como uma suposta, provável e provisória resposta a um problema, cuja adequação (comprovação, sustentabilidade ou validade) será verificada através da pesquisa. Sendo assim, uma vez formulado o problema, com a certeza de ser cientificamente válido, propõe-se uma resposta "suposta, provável e provisória", isto é, uma hipótese. Ambos, problemas e hipóteses são enunciados entre variáveis (fatos, fenômenos); a diferença reside em que o problema constitui sentença interrogativa e a hipótese, sentença afirmativa mais detalhada.

Dentro deste contexto, Marconi e Lakatos (2003) consideram que há várias maneiras de formular hipóteses, mas a mais comum é "Se x , então y ", onde x e y são variáveis¹ ligadas entre si pelas palavras "se" e "então". Como por exemplo, *problema* - "A constante migração de grupos familiares carentes influencia em sua organização interna?"; *hipótese* - "Se elevado índice de migração de grupos familiares carentes, então elevado grau de desorganização familiar".

Neste sentido, ao serem detectadas certas regularidades pelas *situações particulares* dos fatos observados é que os cientistas, com o intuito de explicar estas regularidades com a elaboração de hipóteses, formulam *situações generalizadas* na forma de *leis científicas*. O esquema padrão de uma lei científica pode, em certas circunstâncias, ser representado por uma *generalização universal* representada pelo esquema (HEGENBERG, 1973): Para todo x (se x é A então x é B). Como por exemplo: *para todo x (se x é cochicina então x interrompe a divisão celular da cebola)*. Desta forma, as leis desempenham um papel bastante importante na elaboração de teorias. Este assunto será detalhado em seções posteriores. Na seção seguinte, pretende-se dar uma visão geral sobre quais são as operações cognitivas (indução, dedução, analogia, resolução de problemas, e raciocínio causal) que os cientistas utilizam para conduzir uma pesquisa científica.

¹Marconi e Lakatos (2003) definem variável como sendo uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional, que contém ou apresenta valores; aspecto, propriedade ou fator, discernível em um objeto de estudo e passível de mensuração.

4.3 PENSAMENTO E RACIOCÍNIO CIENTÍFICO

Pensar cientificamente se refere ao processo mental usado quando raciocinamos sobre o conteúdo de ciência (como por exemplo, ao realizar o cálculo da velocidade de um carro, baseado no espaço percorrido sobre o tempo) (HOLYOAK; MORRISON, 2005), quando estamos engajados em típicas atividades científicas (como por exemplo, projetar experimentos), ou tipos específicos de raciocínios que são usados freqüentemente em ciência (por exemplo, deduzir que há um planeta além de Pluto). Pensar cientificamente envolve muito uso geral de operações cognitivas que os seres humanos aplicam em domínios não científicos, tais como: indução, dedução, analogia, resolução de problemas, e raciocínio causal. Desta forma, o que distingue pesquisa em pensamento científico de pesquisa geral em cognição é que pesquisa em pensamento científico tipicamente envolve investigar pensamento que tem conteúdo científico.

As bases para as fundações da pesquisa contemporânea em pensamento científico foram historicamente lançadas pelos trabalhos de Bruner, Wason, e Simon (HOLYOAK; MORRISON, 2005). Bruner, Goodnow e Austin (1956), argumentavam que uma atividade chave no qual cientistas se engajam é determinar se ou não uma instância particular é um membro de uma categoria. No qual o pensamento científico é visto como um teste de hipóteses e coleta de dados com um objetivo fim de determinar se algo é um membro de uma categoria ou não. Em um segundo momento, Wason (1968) também considerou o teste de hipóteses como sendo parte fundamental do pensamento científico, e em seu trabalho focalizou sobre se as pessoas adotam uma estratégia de tentar confirmar ou desconfirmar suas hipóteses. Desta forma, Wason fez uso da teoria de Popper (2000), e realizou testes empíricos em sua pesquisa, onde cientistas deveriam tentar realizar o falseamento antes de confirmar suas hipóteses. Neste contexto, muitos pesquisadores consideram testar hipóteses específicas preditas por teorias como um dos atributos chave do pensamento científico (HOLYOAK; MORRISON, 2005). Assim, considera-se que testar hipóteses é um processo de avaliar uma *preposição* pela coleta de evidências relativas a sua verdade. Desta forma, muito deste trabalho é baseado na idéia de Karl Popper, que considera que a melhor forma de testar uma hipótese é tentar desconfirmá-la.

Em um terceiro momento, Newell e Simon (1972) propuseram que o pensamento científico é uma forma de resolução de problemas, e que resolução de problemas é uma busca em um espaço de problemas. Desta forma, com esta pesquisa realizada por Simon, uma linha comum foi que pensamento e descoberta científica não são caracterizados por um processo mágico misterioso, mas por um processo de resolução de problemas no qual claras heurísticas são usadas. Um resultado importante deste trabalho foi demonstrar que formação de conceitos e indução consistem de uma busca em dois espaços de problemas: um espaço de instâncias e um espaço de regras (SIMON; LEA, 1974), pelo qual, formação de conceitos nesta visão envolve procurar estes espaços e encontrar regras que podem descrever as instâncias. Esta abordagem tem influenciado bastante o processo de resoluções de problemas relativo ao pensamento científico, caracterizado pelo entendimento de que um espaço de problemas consiste de

todos os possíveis estados de um problema e todas as operações que um solucionador de problemas pode usar entender de um estado ao próximo. Sendo assim, esta visão caracteriza os tipos de representações e procedimentos que pessoas procuram entender para poder passar de um estado a um outro, tornando possível entender o pensamento científico.

Portanto, pensamento científico pode ser caracterizado como uma busca em vários espaços de problemas. E, para isso, heurísticas podem ser usadas para guiar esta busca na solução do problema. Assim, resolução de problemas em pensamento científico pode ser realizada por heurísticas que guiam uma busca através de um espaço de teorias e um espaço de experimentos (HOLYOAK; MORRISON, 2005). Desta forma, Klahr e Dunbar (apud HOLYOAK; MORRISON, 2005) propuseram estender a busca em uma abordagem de espaço de problemas para dois espaços de busca: um espaço de hipóteses e um espaço de experimentos, onde, cada espaço de problema que um cientista usa teria seu próprio tipo de representação e operações usadas mudariam as representações. Trabalhos mais recentes têm estendido a abordagem de espaço duplo para incluir espaços alternativos de resolução de problemas, incluindo estes para dados, instrumentação, e domínio específico de conhecimento (SCHUNN; KLAHR, 1995, 1996a; KLAHR; SIMON, 1999).

Neste contexto de investigação em pensamento científico, sabe-se que uma das características mais básicas da ciência é que cientistas assumem que o universo em que vivemos segue regras previsíveis. Desta forma, cientistas raciocinam usando uma variedade de diferentes estratégias para fazer novas descobertas científicas. Frequentemente, cientistas usam dois tipos de estratégias de raciocínio, o indutivo e o dedutivo (HOLYOAK; MORRISON, 2005): (i) No caso do raciocínio indutivo, um cientista pode observar uma série de eventos e tentar descobrir uma regra que os governe. Uma vez que uma regra é descoberta, cientistas podem inferir desta regra para formular teorias do fenômeno observado. Exemplos comuns são indução por generalização e indução categórica. Indução por generalização ocorre quando são observados casos particulares e tenta-se generalizar este fenômeno a partir dos casos que foram observados. Já indução categórica ocorre quando é feito um mapeamento de características de um membro de uma categoria em um outro membro desta mesma categoria; (ii) Por outro lado, considerando agora o caso do pensamento dedutivo, sabe-se que muitos dos processos de pensamento em que cientistas estão envolvidos seguem as regras tradicionais da lógica dedutiva. Estes processos correspondem às condições no qual uma hipótese pode conduzir, ou ser deduzível, a uma conclusão, embora, nem sempre estas declarações (hipóteses) são parafraseadas em uma forma silogística, pois, deve-se levar em conta que argumentos dedutivos podem ser parafraseados como "silogismo" ou como "breves declarações matemáticas" no qual as premissas conduzem à conclusão. Portanto, raciocínio dedutivo é um aspecto extremamente importante do pensamento científico porque fundamenta como cientistas conduzem suas pesquisas.

Um outro aspecto bastante importante em ciência é a utilização de processos de raciocínio científico por meio de analogia. Cientistas frequentemente usam analogia para formar uma ponte entre o que eles já conhecem e o que eles estão tentando explicar, entender, ou descobrir (HOLYOAK; MORRISON,

2005). Descrições tradicionais de analogia distingue entre dois componentes do raciocínio analógico, o alvo (*target*) e a fonte (*source*): o alvo é o conceito ou problema que um cientista está tentando explicar ou resolver; a fonte é um outro pedaço de conhecimento que o cientista usa para entender o alvo, ou explicar o alvo a outros. O que cientistas fazem quando é feita uma analogia é mapear características da fonte em cima das características do alvo. Pelo mapeamento das características da fonte em cima das características do alvo, novas características do alvo podem ser rearranjadas de modo que um novo conceito é inventado e uma descoberta científica é feita. Por sua vez, o processo de fazer uma analogia envolve um número de passos chave: recuperação de uma fonte da memória, alinhamento das características da fonte com aquelas do alvo; mapeamento das características da fonte sobre aquelas do alvo; e possivelmente realização de uma nova inferência sobre o alvo. Através destes passos, descobertas científicas podem ser realizadas quando a fonte destaca uma característica até aqui desconhecida do alvo ou reestrutura o alvo em um novo conjunto de relações. Assim, se o objetivo é formular hipóteses, participantes em experimentos focam em analogias baseados sobre um conjunto de relações. Portanto, uma importante diferença existente entre cientistas e participantes em experimentos é que cientistas têm profundidade do conhecimento relacional envolvido no processo que eles estão investigando e podem usar aquele conhecimento relacional para fazer analogias.

Sabe-se, ainda, que outro aspecto muito importante do pensamento científico é que a construção de teorias científicas está diretamente relacionada ao desenvolvimento de modelos causais entre variáveis de interesse (HOLYOAK; MORRISON, 2005). Desta forma, cientistas e não cientistas igualmente são bombardeados constantemente por declarações que possuem relações causais entre tais variáveis (por exemplo, fumar causa câncer). Neste contexto, pode-se afirmar que um importante assunto na literatura em raciocínio causal diretamente relevante ao pensamento científico é estender o que cientistas e não cientistas podem ser direcionados pela procura por mecanismos causais (isto é, a corrente de eventos que conduz de uma causa a um efeito) versus a busca por dados estatísticos (isto é, como frequentemente variáveis co-ocorrem). Esta dupla linha de pesquisa pode ser reduzida à procura por informação qualitativa versus quantitativa sobre o paradigma que o cientista está investigando. Tendo em vista estas afirmações, pode-se ainda levar em conta que pesquisadores em um número bastante variado de laboratórios em psicologia cognitiva têm mostrado que as pessoas preferem colher mais informações sobre um mecanismo base, do que co-variação entre causa e efeito (HOLYOAK; MORRISON, 2005). Isto é, a estratégia predominante que estudantes usam em simulação em pensamento científico é reunir muita informação o quanto possível sobre como os objetos sob investigação trabalham, do que coletar grandes quantidades de dados qualitativos para determinar se as observações seguram através de múltiplas amostras. Estes resultados sugerem que um componente central do pensamento científico pode ser formular mecanismos explícitos em modelos causais de eventos científicos. Desta forma, cientistas na tentativa de construir modelos causais de seus resultados inesperados obtidos em laboratório é que resultam em um uso extensivo de raciocínio colaborativo, raciocínio analógico, e heurísticas de resoluções de problemas.

4.4 EXPLICAÇÕES CIENTÍFICAS

Sabe-se que da atividade de pesquisa do cientista, obtém-se o produto de um estudo que foi realizado, este produto é o *conhecimento científico*. Segundo Köche (apud JUNG, 2004), "*O conhecimento científico é um produto resultante da investigação científica. Surge não apenas da necessidade de encontrar soluções para problemas de ordem prática da vida diária, característica essa do conhecimento do senso comum, mas do desejo de fornecer explicações sistemáticas que possam ser testadas e criticadas através de provas empíricas e da discussão intersubjetiva*". Desta forma, após realizar experimentos, comparações, simulações em laboratório, o cientista apresenta os resultados na forma de *teorias científicas*, que são publicadas em artigos, livros, e em outros meios de divulgação (PARAGUAÇU et al., 2003).

Neste sentido, vários filósofos procuraram estabelecer como seria possível realizar *explicações científicas* através de formulações em *teorias científicas*. Assim, a natureza da explicação foi estudada extensivamente por filósofos, particularmente por pesquisadores da filosofia da ciência (SØRMO; CASSENS; AAMODT, 2005), que procuravam estabelecer explicações baseadas em observações e em conhecimento existente. Desse estudo, resultaram duas diferentes classes de abordagens ("*nomológico-dedutivo*", e "*estatístico-indutivo*"), e que foram alvo de pesquisa, particularmente entre o período de 1950 e 1960.

A abordagem "*dedutiva lógica*", sugerida por Hempel e Oppenheim (1948), e que foi ligada com uma *visão positivista*² na ciência, foi severamente criticada por diversas pessoas, resultando em várias sugestões diferentes de abordagem mais *pragmáticas*³ a explicação (SØRMO; CASSENS; AAMODT, 2005). A abordagem positivista entende que uma teoria científica é uma formalização axiomática de um conjunto de sentenças em um sistema lógico, pelo qual uma explicação é realizada a partir da dedução de leis (SØRMO; CASSENS; AAMODT, 2005). Esta abordagem é também referida como "modelo de lei de cobertura" (*covering law model*), refletindo que a teoria inclui ou cobre as coisas que são explicadas. Posteriormente este trabalho foi estendido subseqüentemente com um modelo formal de "*inferência probabilística*", ou seja, o modelo "*estatístico-indutivo*".

²O positivismo lógico é uma posição filosófica geral, também denominada empirismo lógico, desenvolvida por membros do Círculo de Viena com base no pensamento empírico tradicional e no desenvolvimento da lógica moderna (WIKIPÉDIA, 2006).

³Aspectos pragmáticos a uma dada explicação refere-se ao fato de que explicar alguma coisa a alguém é tornar essa coisa inteligível, fazendo com que esta pessoa entenda. Assim, o vocábulo *explicação* (e seus cognatos) é um vocábulo pragmático: seu emprego requer que se faça alusão às pessoas em tela. Portanto, as explicações, nesse contexto pragmático, são, pois, *relativas*, tornando-se explicações para este ou aquele indivíduo (HEGENBERG, 1973).

Portanto, a fim de analisar formalmente explicações, uma *estrutura de explicação* em ambos destes modelos ("*nomológico-dedutivo*" e "*estatístico-indutivo*") é definida para consistir em duas partes (figura 13) (SØRMO; CASSENS; AAMODT, 2005) (HEGENBERG, 1973) (HEMPEL, 1981) (HEMPEL; OPPENHEIM, 1948): a parte que deve ser explicada, que é chamada *explanandum*; e a expressão explicativa, chamada *explanans*. Por exemplo: O paciente morreu (*explanandum*); O paciente tinha câncer (*explanans*); O paciente morreu porque tinha câncer (*explicação*).



Figura 13: Estrutura para Explicação Científica de um Fenômeno Empírico

Segundo Oliva (2003), a estrutura argumentativa (figura 13) de ambos os modelos é a mesma: "*suas premissas contêm condições iniciais [C], e generalizações tipo-lei [L], e em cada uma, a conclusão é o evento E a ser explicado*". O referido autor explica que: "*a diferença fundamental entre os dois modelos é que as leis numa explicação "nomológico-dedutiva" são "generalizações universais", ao passo que numa explicação "estatístico-indutiva" têm a forma de "generalizações estatísticas"*". Assim, o autor conclui dizendo: "*que o ideal é estabelecer relações dedutivas entre premissas e conclusão, já que isso maximiza o poder preditivo da explicação. Não sendo possível, o pesquisador deve se contentar com o estabelecimento de relações estatísticas ou probabilísticas entre o que explica e o que é explicado*".

Desta forma, uma *explicação* pode ser encarada como resposta a uma pergunta que envolve um "Por quê?" (HEGENBERG, 1973), como, "Por que o paciente morreu?", "Por que filhos de pais de olhos azuis tem olhos azuis?".

Por outro lado, existem outros modos de formular questões que exigem explicações, não especificamente com o uso do "Por que?". Contudo, pode-se assumir a forma padrão "Por que?". Ou seja, "Por que *p*?". Para este fim, observa-se que o lugar de *p* será ocupado por uma sentença que traduz aquilo que requer *explicação*, isto é o *explanandum*.

Segundo (HEGENBERG, 1973), nem todas as perguntas da forma "Por que?" são perguntas que solicitem uma explicação. Algumas dessas perguntas pedem razões que apóiem uma dada asserção. Questões desse gênero são chamadas de epistêmicas e é preferível que sejam indicadas da seguinte forma: "Por que se deve acreditar que *p*? ou seja, "Que razões existem para aceitar *p*?"

A diferença entre estas duas forma de "Por que?" (HEGENBERG, 1973) está no fato de que: no "Por que?" *explicativo* a sentença que está no lugar de *p* é, de hábito, verdadeira e a pergunta se coloca com a finalidade de explicar o fato, acontecimento ou estado de coisas descrito; por outro lado, no "Por que?" de caráter epistêmico, a verdade da sentença é que está, normalmente, em tela, pedindo-se, justamente

razões para dá-la como verdadeira.

Independente do modo de formular questões, sabe-se que essencialmente explicações científicas visam explicar o que sucede em uma pesquisa científica, valendo-se de *leis*⁴ e *teorias* que tenham caráter objetivo, isto é, que independam dos indivíduos que as formulam. Esse ideal sugere a questão de obter um conceito *não pragmático* de explicação científica, ou seja, que não exija relatividade às pessoas em tela. Sendo assim, em muitos casos a explicação é uma espécie de "redução ao familiar". Ou seja, reduzir a essência da explicação a elementos tão familiares, aceitos com tanta facilidade que a "*curiosidade morre*". Contudo, a noção de familiar é vaga, pois o que pode ser familiar para um, pode ser estranho para outro, relativizando-se de novo a explicação.

Vale a pena acrescentar que além das duas formas de explicações citadas anteriormente, ou seja, ("*nomológico-dedutivo*", e "*estatístico-indutivo*") existem mais duas: *Teológicas* (finalistas, funcionais); e *Genéricas* (históricas) (HEGENBERG, 1973). Mas que, a rigor, não colocam problemas novos, podendo ser encaradas como uma sucessão de explicações dedutivas e probabilísticas.

Por sua vez, explicações de caráter teleológico (ou finalista) é uma das formas de explicação em que "*a curiosidade morre*". Ou seja, pode-se fazer a seguinte pergunta: "Por que João foi à biblioteca?"; e ter-se como resposta: "Para recolher o último número da revista *Veja*". Portanto, dar às explicações teleológicas um "status" explicativo, é comum na Biologia, bem como na Psicologia e na História, para não citar os casos que ocorrem na vida cotidiana. As *explicações genéricas*, por outro lado, são próprias da *história* e é caracterizada pela *narrativa* ser variável e dependente do historiador que a escreve, colocando alguns dados em sucessão temporal e exigindo a origem do fenômeno que se propõem a explicar.

Um fato a acrescentar no contexto de explicações científicas é que existe um uso bastante comum de *leis causais*. Porém, este é um assunto que é submetido a críticas mais ou menos severas, mas que continua a ser bastante comum nas investigações científicas. Segundo Hegenberg (1973), existe uma certa ambigüidade associada ao vocábulo "causa", mas nem por isso deixa de ser possível identificar um significado razoável definido para "lei causal" em muitos contextos. Por exemplo, a fome é a *causa* de uma busca de alimentos (houve uma inversão aqui: "*a fome*" não é a *causa*, mas o "*efeito*"), e sua generalização correspondente (sempre que *x* está com fome, *x* procura alimentos) é uma lei causal. Hegenberg afirma que não há risco de mal-entendidos no emprego da expressão *lei causal* quando se tomam certas precauções:

1. O cuidado que se deve ter em relação a invariabilidade da relação, ou seja, que o *efeito* sempre se manifesta quando a *causa* se fizer presente;
2. A assimetria da relação, no sentido de que a *causa* gera o *efeito*, mas não vice-versa;

⁴As *leis* se formulam quase sempre em enunciados isolados, ao passo que as *teorias*, com raríssimas exceções, se apresentam como concatenações de vários enunciados, relacionados entre si (HEGENBERG, 1973).

3. O fato de guardar certa contigüidade espaço-temporal entre causa e efeito, no sentido de que causa e efeito, se estiverem afastados (no espaço e/ou tempo), se ligam por uma cadeia de outros acontecimentos causalmente adjacentes.

Hegenberg conclui afirmando que não há inconveniente em prosseguir usando as noções em foco, especialmente porque se mostram úteis em várias ocasiões, mesmo lembrando que as leis causais já se tornaram supérfluas em ciências mais "avançadas".

Portanto, desta breve visão geral sobre explicações científicas, deve-se lembrar que alguns assuntos de interesse que não foram mencionados, mas que estão interligados e merecem destaque, serão apresentados a seguir: *Modelos Científicos e Teorias Científicas como Sistemas Axiomáticos*.

4.5 MODELOS CIENTÍFICOS

Segundo Jung (2004), um modelo científico é "*uma representação lógica, um conjunto de mecanismos virtuais que permite a representação de um fenômeno*". E estes modelos, por sua vez, são utilizados para representar os conhecimentos científicos obtidos através da experimentação ou observação dos fenômenos da natureza, bem como produtos e processos.

Frigg e Hartmann (2006) consideram que os modelos podem executar duas funções fundamentalmente representacionais diferentes. Por um lado, um modelo pode ser uma representação de uma parte selecionada do mundo (o "sistema alvo"). Dependendo da natureza do alvo, tais modelos são quaisquer modelos de fenômenos ou modelos de dados. Por outro lado, um modelo pode representar uma teoria no sentido que interpreta as leis e axiomas dessa teoria. Contudo, estas duas noções não são mutuamente exclusivas como modelos científicos e podem ser representações em ambos sentidos ao mesmo tempo.

Portanto, considerando a segunda alternativa, entende-se que na lógica moderna um modelo é uma estrutura que torna todas as sentenças de uma teoria verdadeiras (FRIGG; HARTMANN, 2006). Onde uma teoria é levada a ser um conjunto de sentenças numa linguagem formal, normalmente fechada dedutivamente. Portanto, a estrutura é um "modelo" no sentido em que é o que a teoria representa, por exemplo, pode-se considerar a Geometria Euclidiana, que consiste de axiomas, e de teoremas que podem ser derivados destes axiomas.

Por conseguinte, dada a grande variedade de coisas que são referenciadas como modelos (objetos físicos, objetos fictícios, estruturas em conjunto-teórico, descrições, equações, ou combinações de alguma destes), pode-se considerar que os modelos são uma mistura de elementos que pertencem a diferentes categorias ontológicas. Desta forma, Morgan sugere que os modelos envolvem elementos estruturais de narrativa ("histórias", como ele os chama) (FRIGG; HARTMANN, 2006).

Por outro lado, os modelos em epistemologia⁵ são considerados veículos para *aprendizagem* sobre o mundo (FRIGG; HARTMANN, 2006). E, segundo muitos cientistas, encontrar uma distinção entre modelo e teoria é muito difícil, senão impossível. Contudo, pode-se considerar que uma teoria pode ser visualizada sob dois extremos (FRIGG; HARTMANN, 2006): o primeiro é a *visão sintática* que é parte integral do positivismo lógico, que caracteriza a construção de uma teoria como um conjunto de sentenças em um sistema axiomático de lógica de primeira ordem; e o segundo extremo é a *visão semântica*, que em um sentido mais amplo, considera-se que um *modelo* é um sistema de regras semânticas que interpretam um *cálculo abstrato*⁶, onde o estudo de um modelo envolve examinar a semântica de uma linguagem científica.

4.6 TEORIAS COMO SISTEMAS AXIOMÁTICOS

Com relação às considerações levantadas anteriormente, pretende-se mostrar de forma intuitiva nesta seção a noção do que é uma teoria formulada como um sistema axiomático. Assim, definiremos primeiro o que é um axioma e o que é um teorema, para posteriormente continuarmos com nossas considerações.

Entende-se que um *axioma* é uma verdade que não exige demonstração (COSTA; KRAUSE, 2004). Portanto, a partir de um conjunto de axiomas sobre uma determinada realidade (organizados de tal forma que todos os conceitos são definidos a partir de alguns conceitos básicos, ditos conceitos primitivos) é possível elaborar *teoremas*, que por sua vez, são formados a partir de verdades já preestabelecidas nos axiomas.

Uma teoria, por outro lado, é definida por Rudner (1969) da seguinte forma: "*Uma teoria é um conjunto sistematicamente relacionado de declarações, incluindo algumas generalizações em forma de lei, que é empiricamente comprovável*". Mas, diante deste conceito, o autor limita-se a expressão "*sistematicamente relacionado*", para seguir com suas considerações. Em primeiro lugar, o referido autor considera mostrar de forma intuitiva o que são *Sistemas Formais*, e em seguida *Sistemas Axiomáticos*. Para então, considerar a sua importância para a construção de *Teorias Científicas* formuladas como *Sistemas Dedutivos*. Assim, nos parágrafos subseqüentes, procura-se dar esta visão intuitiva como explicado por Rudner (1969).

O que é um Sistema Formal? Segundo Rudner, um *Sistema Formal* pode ser concebido como uma espécie de linguagem. Assim, como exemplificado pelo autor, o problema passa a ser o seguinte (RUDNER, 1969): O que devemos saber sobre uma linguagem, por exemplo o inglês, para sermos capazes de escrever cada frase inglesa de forma correta? Para solucionar este problema o autor considera

⁵Epistemologia, ou Filosofia da Ciência, é o ramo da Filosofia que estuda a investigação científica e seu produto, o conhecimento científico (BUNGE, 1980).

⁶Entende-se por *cálculos* um sistema axiomático puramente formal, ou não-interpretado. Uma explicação adicional será dada na próxima seção.

que deveríamos ter que dispor de pelo menos, duas listas: uma incluindo todas as palavras inglesas; outra compreendendo todas as regras da gramática inglesa. Porém, o autor considera que estas duas suposições são extremamente duvidosas, sobre existir um vocabulário e uma classe de regras. Na realidade, têm-se boas provas de que ambas as suposições são falsas, pois, o vocabulário e as regras de uma linguagem natural estão, obviamente, num constante fluxo.

Por outro lado, as duas suposições acima citadas não são duvidosas quando feitas para linguagens *construídas* ou artificiais, linguagem essas em que o vocabulário e a sintaxe podem ser determinados especificamente. Por sua vez, a geração de uma linguagem construída pode desenrolar-se de acordo com as diretrizes descritas. A razão para tal ênfase reside no fato de que as teorias científicas são elaboradas como sistemas de linguagem artificial ou construída, não como sistemas de linguagem natural.

Do exposto, nota-se que em nenhuma parte do texto acima fez-se qualquer referência ao *significado* das palavras que são elementos da linguagem, na geração de linguagens artificiais. Isso é devido ao fato de que uma linguagem artificial poderá ser gerada sem levar em conta o significado de qualquer palavra da língua. Este importante fato habilita-nos a distinguir entre *sistemas puramente formais* e *sistemas interpretados*.

Portanto, considerando uma linguagem L construída artificialmente, como já exemplificado, conta, pelo menos, com um conjunto de elementos (o seu "vocabulário") e um conjunto de regras (a sua sintaxe ou "gramática"). As regras de sintaxe em que essa determinação se baseia são denominadas *regras de formação* da linguagem. As *regras de formação* de L dividem a classe de todas as permutas possíveis em duas subclasses que se excluem mutuamente. A que nos interessa compreenderá a totalidade das *fbfs* - formulações bem formadas (ou gramaticalmente aceitáveis) de L. A outra subclasse abrangerá as expressões que, embora compostas de elementos de L, não são, contudo, expressões gramaticalmente corretas de L. Desta forma, nota-se que toda linguagem construída possui, pelo menos, os seguintes conjuntos de componentes: *elementos*; e *regras de formação*, para determinar a classe de *fbfs* da linguagem.

O que é um Sistema Axiomático? Para construir um sistema axiomático em L, deve-se preencher as seguintes condições (RUDNER, 1969):

1. deve-se tomar uma seleção de um subgrupo de *fbfs* da totalidade de *fbfs* em L e designá-los como **axiomas** (verdade que não exige demonstração);
2. deve-se formular um grupo de regras sintáticas denominadas **regras de transformação**, de modo que a aplicação desta aos *axiomas* resulte na derivação de algumas (mas não todas) das restantes *fbfs* de L. As *fbfs* assim deriváveis chamam-se **teoremas**.

Um outro fator não mencionado ainda é que se sabe que para a maioria das linguagens naturais deve-se ainda formular um conjunto de **definições**, que servem como definições alternativas para expressões

(palavras ou frases) que são sinônimas, que podem indicar uma certa espécie de redundância. Desta forma, numa linguagem *construída*, os sinônimos são estabelecidos através de definições *explícitas*, de tal forma que, cada uma das quais é, por si mesma, uma regra da sintaxe da linguagem (uma regra determinando a viabilidade de substituição permissível de algum termo em contextos da linguagem).

Assim, das condições estabelecidas acima, pode-se definir um sistema axiomático C como um sub-sistema de alguma linguagem L. Por outro lado, do que foi exposto, pode-se afirmar que os sistemas artificiais como apresentado até aqui são puramente formais, ou *não-interpretados*, isto é, sistemas construídos cujos *elementos* não foram atribuídos significados. Assim, em um sistema axiomático puramente formal, ou não-interpretado, dá-se o nome de *calculus*. Onde, todo o processo de gerar um *calculus* pode ser realizado de um modo puramente sintático, isto, sem recursos aos significados (ou características semânticas) de qualquer expressão do sistema (RUDNER, 1969).

Os sistemas lingüísticos interpretados sempre têm um significado, estes sistemas possuem regras sintáticas e regras semânticas de interpretação. As regras semânticas também determinam as condições de *verdade* ou *falsidade* para as combinações de expressões do sistema que compreendem suas frases e sentenças. Para tanto, é necessário a adição de regras semânticas aos sistemas axiomáticos para então considerar *teorias científicas* formuladas como *sistemas dedutivos* completamente articulados que, segundo Rudner (1969), é muito difícil e são poucas as teorias que chegam a este nível de formalização.

Com este intuito de gerar uma representação semântica, o modelo MIDES (PARAGUAÇU et al., 2003) considerou utilizar ontologias para dar significado aos *conceitos* (representados em uma visão hierárquica) que são utilizados na formação de uma teoria científica, e considerou utilizar o cálculo proposicional como forma sintática de representação. Portanto, em MIDES um *axioma* é uma *sentença* que é representada por uma *tripla* <objeto1-relação-objeto2>, e os elementos desta tripla são obtidos através de uma visão hierárquica, que determina semanticamente através de uma taxonomia o significado de cada termo utilizado. Porém, torna-se exclusivamente e de única responsabilidade do usuário a formação correta das verdades inseridas nos axiomas deste modelo.

Assim, o modelo que será proposta para este trabalho é baseada em MIDES com quatro visões de conhecimento (hierárquica, relacional, causal, e de questionamento). Contudo, em vez de utilizar o cálculo proposicional, procura-se utilizar o *ensino baseado em casos* como mecanismo de "*explicação científica*", onde este será utilizado como forma de inferência para a recuperação de casos de histórias para a elaboração das hipóteses na formação de teorias. Justifica-se a escolha do *ensino baseado em casos* como forma de possibilitar um melhor entendimento ao aluno relativo aos conceitos de uma teoria científica, pois é mais natural para o aluno entender uma explicação na forma de história do que explicações em forma lógica.

Desta forma, com o objetivo de dar o suporte necessário para que o aprendiz possa aprender os conceitos que estão relacionados na formação de uma teoria científica, pretende-se desenvolver um *modelo de aprendizagem por descoberta* para este fim. Portanto, nas próximas seções deste capítulo

procura-se mostrar uma breve explanação sobre os aspectos teóricos para esta realização.

4.7 TEORIAS CIENTÍFICAS: A CONTROVÉRSIA ENTRE DESCOBERTA E JUSTIFICAÇÃO

Para que uma teoria de descoberta científica seja aceitável necessitará ser capaz de explicar os dois lados da moeda (HULSHOF, 2001): o "contexto de descoberta" e o "contexto de justificação". Esta controvérsia se refere com frequência a "anedotas" que são registradas na história das ciências, que servem para "justificar" como um cientista realizou uma "descoberta" para a formulação de uma "teoria científica". Exemplos comuns são: Newton que presta atenção a uma maçã caindo no pomar da sua mãe e relaciona este evento para "justificar" a "descoberta" da teoria da gravitação; Kekulé que em uma viagem de ônibus sonhou que as cadeias de átomos de carbono estavam dançando diante de seus olhos, e subitamente tomaram a forma de uma cobra para "justificar" a "descoberta" de que a molécula de benzeno tem a forma de um anel; e outras histórias de anedotas como estas são citadas na literatura.

Por outro lado, na *filosofia da ciência*, houve um debate continuado sobre o que constitui exatamente a descoberta científica, e no século XIX, Peirce propôs um *modelo de descoberta científica* baseado em *abdução*⁷, *indução*, e *dedução*. Em contrapartida, como uma reação ao *positivismo lógico* que se iniciou no começo do século XX, a filosofia da ciência tem procurado uma lógica de descoberta científica que não deixe a razão para formalismos logicamente incompletos. De acordo com Popper (apud HULSHOF, 2001) não há uma lógica em abdução e indução. Dedução, por outro lado, aplica-se ao *contexto de justificação*, e é somente nesta área pelo qual o procedimento científico pode ser estudado.

A razão para isso, é que ambos abdução e indução não são métodos logicamente completos para estabelecer a verdade (VEERMANS, 2003). A indução, entretanto, permanece no método científico porque exemplos de progresso científico que foram baseados em indução provaram seu valor, mesmo sem uma base lógica completa. Entretanto, segundo Popper (apud HULSHOF, 2001) o estudo que está por trás do *contexto de descoberta* não está aberto para análise lógica, pois muitas das descobertas contém um elemento irracional, largamente baseado em intuição.

Contrário à visão de Popper, Simon (1973), em uma análise do problema da indução, considera que a criação de uma *teoria normativa de descoberta científica* é uma possível aventura, se é declarado como um conjunto de critérios para avaliar processos de "descoberta em leis" (*law-discovery*). Por sua vez, processos de "descoberta em leis" são definidos como aqueles processos que rearranjam conjuntos de dados empíricos. E, segundo Simon, a maior eficácia de um processo comparado com um outro

⁷Para Peirce, o raciocínio abduativo é típico de todas as descobertas científicas revolucionárias (TOMICH; DIAS, 2005). Peirce explica que: (i) *Dedução* prova algo que *deve* ser; (ii) *Indução* mostra algo que *atualmente* é operatório; (iii) *Abdução*, por outro lado, é o processo para formar *hipóteses explicativas*, que fazem uma mera sugestão de algo que *pode* ser. Portanto, para que os cientistas possam apreender ou compreender os fenômenos, só a abdução pode funcionar como método. Pois, através da utilização do raciocínio abduativo são formuladas as *hipóteses*, antes mesmo de ser detectado a confirmação (ou negação) do caso.

em descobrir leis é que não necessitam serem atribuídos acaso, irracionalidade, nem intuição criativa. Pelo contrário, é um assunto pelo qual o processo é mais capaz de detectar padrões de informação contidos nos dados, pelo qual pode-se utilizar esta informação para rearranjar os dados em forma mais parcimoniosa. Simon, desta forma, conseguiu ao menos retirar parte da sugestão de "magia" do processo de descoberta, por redefinir a criação de hipóteses como o reagrupamento de dados.

Portanto, esta idéia de uma teoria normativa de descoberta científica a partir de processos de descoberta em leis, foi inspirada por desenvolvimentos em *inteligência artificial*, que resultou no desenvolvimento de sistemas de descoberta que usavam indução⁸. Estes sistemas de descoberta tiveram seu marco inicial a partir do trabalho de *resolução de problemas* em formação de conceitos humanos proposto por Newell e Simon (1972), que consideraram resolução de problemas como um espaços duplo⁹ de busca: *um espaço de instâncias e um espaço de regras*. Neste sentido, Klahr e Dunbar (1988) utilizaram estas idéias em uma teoria de *Descoberta Científica como Busca Dupla (Scientific Discovery as Dual Search - SDDS)*, substituindo instâncias e regras por hipóteses e experimentos. Assim, hipóteses podem ser geradas baseadas em conhecimento prévio, ou baseadas em experimentos¹⁰.

Desta forma, somente na história recente da ciência que *descoberta científica* tem sido considerada como um processo complexo, pelo qual têm-se dispensado alguns dos mitos que cercam a criação de novas idéias. Isto é devido em parte a *insights* teóricos, que culminaram numa estrutura ampla para descoberta, que resultou como pode-se observar em tentativas de elaboração de modelos computacionais de processos de descobertas científicas, que necessitam de uma descrição completa rigorosa (ideal) de processos de descoberta (SHRAGER; LANGLEY, 1990; LANGLEY, 2000). Neste sentido, alguns trabalhos em *pesquisa educacional* com o intuito de modelar *aprendizagem por descoberta* (HULSHOF, 2001; VEERMANS, 2003) têm sido desenvolvidos. Em seções posteriores procura-se mostrar as idéias que estão por trás da criação destes modelos de descoberta.

⁸Um dos primeiros sistemas foi o *Generalized Rule Inducer* (SIMON; LEA, 1974).

⁹Mencionado anteriormente na seção 4.3.

¹⁰Maiores detalhes sobre SDDS será mostrado em uma seção posterior deste capítulo.

4.8 MODELOS DE DESCOBERTA CIENTÍFICA

Nesta seção serão consideradas várias definições de forma bem abrangente para que se tenha uma idéia geral da relação existente entre *modelos de descoberta científica* e *modelos de aprendizagem por descoberta*, assunto que será explicado posteriormente neste capítulo.

4.8.1 DEFINIÇÃO

Modelos computacionais de descoberta científica são programas de computador que fazem descobertas em domínios científicos particulares (CHENG, 2001). Estes sistemas são caracterizados por: (i) simularem com sucesso descobertas importantes registradas na história da ciência; (ii) ou, simularem o comportamento de participantes em soluções de problemas científicos em laboratório de psicologia; (iii) ou ainda, pela possibilidade de serem projetados para tentar fazer descobertas genuinamente novas em domínios científicos particulares.

4.8.2 ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO

Modelos computacionais de descoberta científica têm sido desenvolvidos para executar tarefas chave em um completo espectro de atividades teóricas incluindo: a *formação de taxonomias* (categorização de conceitos, que são entidades de interesse em estudo); *descoberta de leis qualitativas e quantitativas* (através do estabelecimento de relacionamentos entre variáveis de interesse); *criação de modelos estruturais* (que explicam regularidades entre entidades em observação, como os modelos atômicos e moleculares de Dalton e Avogrado); e o *desenvolvimento de modelos de processos* (que possibilitam explicar fenômenos em termos de mecanismos hipotéticos envolvendo mudança sobre o tempo) (LANGLEY, 2000 apud CHENG, 2001).

Portanto, neste âmbito de desenvolvimento de modelos computacionais de descoberta científica, algumas etapas são sugeridas, e influenciam diretamente o processo de descoberta científica a ser realizado pelo sistema (figura 14) (LANGLEY, 2000 apud MARTINS, 2002): (i) **formulação do problema** (devem-se utilizar técnicas existentes para modelar a formação de taxonomias, descoberta de leis qualitativas, detecção de relações numéricas, formação de modelos estruturais ou descrição de processos de construção); (ii) **uso de engenharia apropriada para a representação do problema** (devem-se representar as características do domínio codificadas em algum *formalismo* que consiga descrever os dados/fenômenos a serem explicados, com a representação de saída usada por taxonomias, leis ou modelos); (iii) **selecionar e organizar dados** (devem-se preparar os dados/fenômenos que o sistema de descoberta vai operar); (iv) **manipulação e invocação de algoritmo** (deve-se realizar um esforço para modularizar o comportamento do algoritmo frente às entradas e ao agrupamento de parâmetros do sistema. Tal comportamento envolve, por exemplo, o controle interativo da *busca heurística* para rejeitar maus candidatos ou atender

aos bons); (v) *filtragem e interpretação* (transformar as saídas do sistema de descoberta em resultados que sejam significativos e compreensíveis pela comunidade científica).

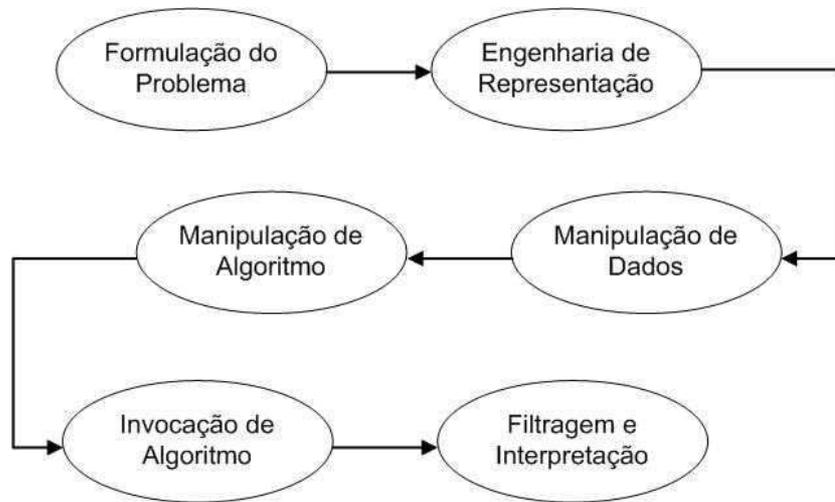


Figura 14: A Influência do Desenvolvedor no Processo de Descoberta Científica

4.8.3 SISTEMAS DE DESCOBERTA CIENTÍFICA

Com este desafio de projeto, sistemas de descoberta científica que foram desenvolvidos no contexto de inteligência artificial (IA) eram vistos inicialmente como sistemas que realizavam *descobertas científicas de forma automática* (MARTINS, 2002), pelo qual era realizada a simulação de processos de descobertas históricas da ciência. Alguns exemplos destes tipos de sistemas são descritos a seguir.

Um sistema que foi desenvolvido para trabalhar com alguns conceitos básicos da teoria dos conjuntos para descobrir grande parte da teoria dos números de forma automática, foi o sistema *AM - Automatic Mathematician*, que possibilitou mostrar como a descoberta poderia ocorrer em um *ambiente teórico*. Porém, foi observado que este sistema era limitado pela natureza estática de suas heurísticas (LENAT, 1983a apud RICH; KNIGHT, 1993). Este problema foi remediado pelo tratamento das heurísticas como conceitos complexos que poderiam ser criados e modificados pelos mesmos processos (como generalização, especialização e analogia) que atuam sobre os conceitos do domínio da tarefa. Uma extensão para este programa foi o sistema *EURISCO* (LENAT, 1983b apud RICH; KNIGHT, 1993) que parte do princípio que as heurísticas deveriam ser tratadas como tal.

Contudo, cientistas empíricos vêem as coisas um pouco diferente, pelo fato de que eles são confrontados com *dados do mundo* e precisam interpretá-los. E para isso, eles elaboram *hipóteses*, e, para validá-las, projetam e *executam experiências*. Neste contexto, pode-se citar um modelo de descoberta científica *orientado por dados* que foi implementado e recebeu o nome de programa *BACON* (RICH; KNIGHT, 1993). Este sistema tem o propósito de descobrir *leis quantitativas*. Para isso, o sistema recebe um conjunto de variáveis dependentes e independentes e gera leis que relacionam essas variáveis entre

si. BACON conseguiu redescobrir a Lei do Gás Ideal, a Terceira Lei de Kepler, a Lei de Coulomb e a Lei de Ohm (LANGLEY et al., 1992 apud MARTINS, 2002).

Um outro programa para a descoberta de forma automática é o sistema **GLAUBER**, que é um sistema para a descoberta das *leis qualitativas* em Química (LANGLEY et al., 1992 apud MARTINS, 2002). Este sistema recebe algumas leis qualitativas, as reações químicas e as substâncias envolvidas. Por fim, GLAUBER propõe leis mais genéricas. O sistema conseguiu redescobrir a Lei dos Ácidos e das Bases.

4.8.4 SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO INTERATIVA DE TEORIAS

Em contraposição a esta abordagem de realização de *descoberta de forma automática*, alguns trabalhos que vêm sendo desenvolvidos mostram que pode existir uma participação mais ativa (interativa) na construção de teorias (MARTINS, 2002). Neste contexto de desenvolvimento podem ser citados os seguintes sistemas:

- **Dendral** - Esse sistema foi desenvolvido para inferir a estrutura de componentes químicos em termos das conexões moleculares entre seus constituintes elementares, uma vez que para componentes complexos, pode haver centenas de milhões de possíveis estruturas (FEIGENBAUM; BUCHANAN; LEDERBERG, 1970 apud MARTINS, 2002);
- **Autoclass** - É um programa que aceita vários casos de treinamento e formula hipóteses sobre um conjunto de probabilidades¹¹ que prevêem em que classe (ou classes) o objeto pode ser enquadrado. Este sistema encontrou novas classes significativas de estrelas, a partir dos dados de seu espectro infravermelho. Esta foi uma instância de real descoberta por computador, já que a astronomia não tinha conhecimento anterior dos fatos descobertos (CHEESEMAN et al., 1988 apud RICH; KNIGHT, 1993).
- **Graffiti** - Este sistema gera conjecturas em Teoria dos Grafos e outras áreas da matemática discreta. O sistema tem gerado centenas de novas conjecturas na Teoria dos Grafos, algumas das quais têm incitado matemáticos a se esforçarem para prová-las ou refutá-las (FAJTLOWICZ, 1998 apud MARTINS, 2002).
- **Mechel** - Este sistema foi desenvolvido com o propósito de formular uma seqüência de passos, conhecida como caminho da reação, para uma dada reação química. Cabe ao usuário especificar interativamente as restrições a serem incorporadas durante a geração dos caminhos, dando a ele controle sobre o comportamento global do sistema (VALDÉS-PÉREZ, 1995 apud MARTINS, 2002).
- **RL** - Este sistema, baseado em *indução de regras*, foi aplicado a problemas de descoberta de *leis qualitativas* no estudo das *causas* de câncer por certas substâncias químicas (cancerígenas) (LEE; BUCHANAN; ARONIS, 1998 apud MARTINS, 2002).

¹¹Este sistema usa o raciocínio estatístico bayesiano.

4.8.5 ESTRATÉGIAS DE APRENDIZAGEM USADAS

Em um *processo de aprendizagem*¹², a informação usada pelo sistema de descoberta é, de alguma forma, representada para ser inserida na máquina. A qualidade do conhecimento aprendido é então validado com o auxílio de um especialista humano ou com outro componente baseado em conhecimento. Por fim, o aprendiz é submetido a novas situações (MARTINS, 2002). Tendo-se então a *Descoberta Científica* como uma estratégia de *Aprendizagem de Máquina*, pode-se dizer que o processo de aprendizagem inclui três passos: (i) aquisição de novos conhecimentos, (ii) organização de novos conhecimentos em representações genéricas e (iii) descobertas de novos fatos, teorias, etc. As estratégias são as seguintes (MICHALSKI; CARBONELL; MITCHELL, 1983 apud MARTINS, 2002):

1. *Aprendizagem por memorização*: dá-se pela memorização dos dados que o aprendiz recebe, não havendo nenhuma inferência;
2. *Aprendizagem por instrução*: a informação deve ter uma representação que possa ser manipulada diretamente pelo aprendiz. Essa informação é integrada ao seu conhecimento prévio. O aprendiz também faz inferência sobre o conhecimento que possui, mas o instrutor ainda possui uma grande responsabilidade com relação à introdução e organização do conhecimento inicial do aprendiz;
3. *Aprendizagem por analogia*: um sistema que aprende por analogia pode converter um programa existente em um outro que realiza uma tarefa semelhante à original. Isso, porém, demanda muita inferência. Um fato ou habilidade análogos ao que se quer aprender é um parâmetro bastante importante a ser retido pelo aprendiz;
4. *Aprendizagem por exemplos*: refere-se a um dado conjunto de exemplos e contra-exemplos de um conceito, o aprendiz induz uma descrição do conceito que descreve os exemplos e não os contra-exemplos. A fonte de informação para o aprendiz pode ser um instrutor, o próprio aprendiz ou o ambiente externo;
5. *Aprendizagem por observação e descoberta*: é uma forma de aprendizagem bastante genérica de aprendizagem indutiva que inclui sistemas de descoberta, tarefas de formação de teorias, criação de critérios de classificação para formar hierarquias taxonômicas e tarefas similares sem a intervenção de um instrutor. Requer que o aprendiz realize mais inferência do que todas as outras estratégias.

¹²*Aprendizagem de Máquina* envolve o estudo de duas áreas de pesquisa (MARTINS, 2002): Psicologia Cognitiva e Inteligência Artificial. E é caracterizado pelo estudo dos processos computacionais que envolvem a aprendizagem de humanos e de máquinas. A meta principal é estabelecer modelos lógicos e matemáticos do raciocínio humano e então utilizá-los em um computador.

Desta forma, com o intuito de ampliar o entendimento sobre a caracterização de *modelos de descoberta científica*, a seguir, apresentam-se alguns *aspectos relevantes para a realização de descobertas científicas* e posteriormente alguns *critérios para classificação destes modelos*.

4.8.6 ASPECTOS RELEVANTES PARA A REALIZAÇÃO DE DESCOBERTAS CIENTÍFICAS

Segundo Klahr e Dunbar (1988), o mecanismo determinante para o sucesso da realização de descobertas em ciência deve-se principalmente a duas habilidades que os cientistas devem ter: "*saber onde olhar*" e "*entender o que é visto*". A primeira habilidade refere-se a "*projetar experimentos*", que envolve o projeto de procedimentos experimentais e observacionais. A segunda habilidade refere-se a "*formação de hipóteses*" que envolve a formação e avaliação de teorias. Em uma análise histórica, Klahr e Dunbar (1988) afirmam que descobertas científicas sugerem que as interações entre *projetar experimentos* e *formação de hipóteses* são cruciais para o sucesso do esforço real científico, e que ambas as atividades são influenciadas pela *semântica do contexto de descoberta*.

Portanto, a interação entre estas duas estratégias ("*projetar experimentos*" e "*formação de hipóteses*") pode ser bastante complexa. Pesquisas em psicologia cognitiva procuravam inicialmente entender o *raciocínio científico*, investigando cada habilidade isoladamente e em contextos amparados semanticamente (KLAHR; DUNBAR, 1988). Sendo assim, para possibilitar um melhor entendimento do raciocínio científico, deseja-se descrever como é possível existir uma rica interação entre os dois processos, ou seja, o processo de formação de hipóteses e o processo de projetar experimentos.

Desta forma, Klahr e Dunbar (1988) iniciaram este estudo considerando duas pesquisas em laboratório para a simulação do raciocínio científico, para então posteriormente seguir com suas considerações. Estas duas pesquisas são descritas a seguir: *(i)* O primeiro estudo refere-se à primeira série de investigações em raciocínio científico que foi estimulada por Bruner, Goodnow e Austin (1956) para a *aprendizagem de conceitos*. O foco deste trabalho é como participantes selecionam instâncias de um predefinido conjunto para avaliar hipóteses e como eles formam novas hipóteses na base do *feedback* sobre aquelas instâncias. Nesse estudo que foi realizado, Bruner, Goodnow e Austin (1956) argumentaram que a tarefa de *aprendizagem de conceito* é relevante à realidade da ciência porque ela envolve dois componentes essenciais do processo de raciocínio científico: a lógica da experimentação e as estratégias para descoberta de regularidades; *(ii)* Nesse mesmo desafio de compreensão do raciocínio científico, tem-se um segundo estudo que foi realizado por Wason (1968), e esse era para que participantes realizassem uma tarefa de *descoberta de uma regra* para classificar conjuntos de tríades ("2-4-6") numéricas (pre-determinada pelo experimentador). Assim, o estudo consistia em instruir os participantes a gerarem suas próprias tríades na tentativa de descobrir a regra (tipicamente a regra a ser descoberta é uma série crescente). Desta forma, como forma de *feedback*, o experimentador provia um *sim ou não* sobre as instâncias e também dizia aos participante se ou não suas propostas de hipóteses estavam corretas.

Para maiores detalhes sobre *aprendizagem de conceitos*, pode-se consultar Langley (1980)¹³, que faz uma breve revisão sobre os tópicos de interesse sobre esta pesquisa. No entanto, a partir de agora iremos mostrar a relação existente entre as duas principais visões que caracterizam o processo de raciocínio científico: (i) *A primeira, é a visão de formação de conceitos*, que segue o argumento de que muito do raciocínio científico consiste de formar novos conceitos na base a evidência experimental, e que segundo Klahr e Dunbar (1988), tende a dominar a maioria das simulações do processo de raciocínio científico; (ii) *Já a segunda visão, é a visão de resolução de problemas*, que é exemplificada pela análise de (SIMON, 1977) do processo de descoberta, e que é caracterizada pelo fato de que o raciocínio científico é realizado por um processo de busca em um espaço de problemas.

Neste sentido, de acordo com Klahr e Dunbar (1988), a contribuição de Simon para a *visão de resolução de problemas* foi demonstrar como se poderia ir além da metáfora pela explicação do processo de descoberta em termos de uma teoria explícita da resolução de problemas humanos (NEWELL; SAW; SIMON, 1958 apud KLAHR; DUNBAR, 1988), para uma extensão desta idéia básica, em uma análise da maioria das descobertas científicas dos últimos séculos (KULKARNI; SIMON, 1988; SIMON H. A.; BRADSHAW, 1981).

Neste contexto, Klahr e Dunbar (1988) propõem uma estrutura para uma visão integrada do processo de descoberta, dando ênfase às duas fases que o compõem, ou seja, "*formação de hipóteses*" e a fase em que os cientistas "*projetam experimentos*". Para então, com esta estrutura proporcionar o entendimento referente à psicologia dos processos das duas visões de "*formação de conceitos*" e de "*resolução de problemas*". Desta forma, a seguir será apresentada uma visão introdutória sobre o sistema GRI (*Generalized Rule Induce*) (SIMON; LEA, 1974), que foi o precursor que proporcionou a integração destes dois processos de descoberta, em uma proposta inicial de representação em dois espaços de busca, um para *regras* e o outro para *instâncias*. Após a realização destas considerações iniciais, pretende-se posteriormente seguir com a proposta de extensão da idéia do sistema GRI (SIMON; LEA, 1974) para a proposta de Klahr e Dunbar (1988).

Para isso, considera-se que a chave para a integração de ambas as tradições de abordagens de *formação de conceitos* e *resolução de problemas*, em uma organização dentro de uma coerente teoria de raciocínio científico, deve-se ao fato de que ambas abordagens são tarefas que *reúnem informação* e que ambos empregam o *processo de busca guiada*. Esta idéia partiu de *insights* teóricos realizados por Simon e Lea (1974), que mostraram como um simples sistema de processamento de informação, chamado *Generalized Rule Induce* (GRI) pode prestar contas para o desempenho em tarefas de "*resolução de problemas*" e em tarefas para abranger "*indução de regra*", incluindo o alcance de conceitos,

¹³Langley enfatiza este assunto em uma revisão que mostra a atuação de vários pesquisadores que desempenharam considerável contribuição neste campo de estudo, que resultou em uma ampla pesquisa para *aprendizagem de conceitos* em *descoberta científica*. Neste artigo, Langley (1980) também considera: vários sistemas que tem por objetivo procedimentos de aprendizagem; além de mostrar três sistemas de indução gramatical; como também, um estudo sobre indução de funções matemáticas; para então, fazer suas considerações sobre descoberta de leis científicas, referindo-se a quatro programas destinados para este fim. Desta forma, nesta breve revisão, Langley relata um estudo realizado para mostrar 24 programas que aprendem ou descobrem novo conhecimento.

exploração sequencial, e indução gramatical (KLAHR; DUNBAR, 1988).

Acrescenta-se ainda que, o sistema GRI usa os mesmos métodos gerais para ambas as tarefas de *resolução de problemas* e tarefas de *indução de regra*. A principal diferença entre *resolução de problemas* e *indução de regra* está nos espaços de problemas que são usados na tarefa (KLAHR; DUNBAR, 1988). A tarefa de *indução de regra* requer busca em dois espaços de problemas: um *espaço de regras* e um *espaço de instâncias*. Já a tarefa de busca em *resolução de problemas* ocorre apenas em um simple espaço: um *espaço de regras*.

Klahr e Dunbar (1988) afirmam que a característica distintiva da tarefa de *indução de regra* é que regras (hipóteses) propostas não são nunca testadas diretamente, mas somente pela aplicação delas as instâncias. E, portanto, a partir de uma regra que foi gerada (estipulada) pode-se testar se uma instância obedece a esta regra ou não, ou seja, se esta foi aplicada corretamente a regra, através da confirmação ou desconfirmação da instância que está sendo testada. Desta forma, a seleção de instâncias requer a busca do espaço de instâncias, e a mudança de uma regra para uma outra requer busca no espaço de regras.

Por sua vez, Klahr e Dunbar (1988) enfatizam as diferenças existentes entre pesquisa em *formação de conceitos* e *resolução de problemas*, como segue: (i) Pesquisa em *formação de conceitos* preocupa-se com as *regras* derivadas das *instâncias* bem definidas, e caracteriza-se pelo fato de que o *espaço de regras* é muito simple, ele consiste de todas as combinações possíveis de valores e atributos no *espaço de instâncias*. Até mesmo quando os participantes tem algum controle sobre a seleção das *instâncias*, como no trabalho de Bruner, Goodnow e Austin (1956), o conjunto completo de *instâncias permissíveis* é pre-determinado; (ii) Por outro lado, em experimentos por *resolução de problemas*, a estrutura do *espaço de problemas* é geralmente muito mais complicada. Particularmente então sendo meramente a concatenação de um conjunto de dadas características, que consiste de uma série de estágios de conhecimento que os participantes podem gerar por seguir uma grande variedade de estratégias.

Sabe-se, portanto, que em uma análise do raciocínio científico, Simon e Lea (1974) desenvolveram a proposta do sistema GRI, para poder explicar os resultados referentes aos estudos de *laboratórios tradicionais* em *resolução de problemas* e *aprendizagem de conceitos*. Klahr e Dunbar (1988), por outro lado, propõem uma extensão para GRI em uma estrutura mais ampla que suporte uma *visão integrada do processo de descoberta*.

Desta forma, Klahr e Dunbar (1988) identificaram que são necessárias duas extensões para proporcionar esta *visão integrada do processo de descoberta*: (i) A primeira extensão, serve para uma descrição de uma tarefa de *aprendizagem de conceito* pelo aprendiz em situações mais próximas que assemelham-se ao ambiente que cientistas desempenham as tarefas de laboratórios tradicionais (para essa extensão, foi desenvolvido o programa *BigTrack*¹⁴); (ii) A segunda extensão, serve para ir além de uma especificação do processo envolvido na busca de dois espaços. Pela substituição: do *espaço de regras* por um *espaço de hipóteses*; e do *espaço de instâncias* por um *espaço de experimentos*. Esta extensão foi concretizada com a idealização de uma estrutura mais ampla para o processo de descoberta, que é descrito pelo *modelo de descoberta científica SDDS (Scientific Discovery as Dual Search - Descoberta Científica como Busca Dupla)*. Neste sentido, uma breve descrição sobre do modelo SDDS faz-se necessária. Antes porém, será explicado na próxima seção uma forma de classificação usada na concepção de *modelos de descoberta científica* para que possamos posteriormente na seção seguinte fazer as considerações necessárias para explicar as idéias que estão por trás do modelo SDDS.

4.8.7 CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS DE DESCOBERTA CIENTÍFICA

De acordo com Schunn e Klahr (1995) a construção de *modelos computacionais de descoberta científica* são caracterizados pela forma que cientistas procuram resolver os problemas em ciência, ou seja, pela busca em dois espaços de problemas: um *espaço de hipóteses* e um *espaço de experimentos*. Esta caracterização pode ser usada para classificar modelos de descoberta em três grupos (SCHUNN; KLAHR, 1995): Primeiro, aqueles sistemas que endereçam o processo de *geração de hipóteses e avaliação* (um exemplo deste tipo é o sistema BACON); Segundo, aqueles sistemas que endereçam o processo de *geração de experimentos e avaliação* (Por exemplo o sistema DIDO¹⁵); e Terceiro, aqueles sistema que endereçam *ambos os processos: geração de experimentos; geração de hipóteses; e avaliação* (exemplos: KEKADA¹⁶, SDDS). Portanto, para se ter uma visão geral do assunto, procura-se nas duas próximas seções descrever dois modelos de descoberta científica que se encaixam na terceira classificação citada, pois engloba ambos os processos.

¹⁴*BigTrack* é um dispositivo robô veículo controlado por computador que é programado usando uma linguagem tipo LOGO. Este programa tem uma tarefa com um *espaço de regras* mais complexo do que aquele que é usado na maioria dos experimentos na *formação de conceitos*. Nele o aprendiz tenta *descobrir* como uma nova função opera, que é para estender o seu entendimento sobre o dispositivo. Por sua vez, o aprendiz deve projetar um experimento (isto é, um programa) e prever o comportamento do dispositivo.

¹⁵Uma especificação das características deste modelo de descoberta científica encontra-se disponível na Internet, e foi realizada por Scott e Markovitch (1993).

¹⁶A descrição deste sistema foi desenvolvida por Kulkarni e Simon (1988), e também encontra-se disponível na Internet.

4.8.8 DESCOBERTA CIENTÍFICA COMO UM PROCESSO DE BUSCA EM UM ESPAÇO DUPLO

O modelo SDDS (*Scientific Discovery as Dual Search*) proposto por Klahr e Dunbar (1988), é uma extensão para o trabalho desenvolvido por Simon e Lea (1974), que desenvolveram um sistema de descoberta científica chamado *Generalized Rule Inducer* (GRI). E, de acordo com as idéias desenvolvidas pelos referidos autores, sabe-se que a tarefa de *formação de conceito* no sistema GRI, envolve busca em dois espaços de problemas: um *espaço de regras* e um *espaço de instâncias*. Neste sentido, é que Dunbar e Klahr (1989) referem-se ao modelo SDDS, partindo da suposição fundamental de que o *raciocínio científico* requer a busca em dois espaços de problemas: um *espaço de hipóteses* (que consiste de hipótese geradas durante o processo de descoberta); e um *espaço de experimentos* (que consiste de todos os possíveis experimentos que podem ser conduzidos). Para esta realização, Dunbar e Klahr (1989) explicam que: Busca no *espaço de hipóteses* é guiada por *conhecimento prévio* e por *resultados experimentais*; Por outro lado, busca no *espaço de experimentos* pode ser guiada pela hipótese corrente, e ela pode ser usada para gerar informação para formular hipóteses.

Portanto, a explicação sobre os aspectos referentes ao modelo SDDS serão abordados de acordo com a visão usada por Dunbar e Klahr (1989), que descrevem o modelo como segue: o modelo SDDD consiste de um conjunto básico de componentes que guiam a busca dentro e entre os dois espaços de problemas. Hipóteses iniciais são construídas por uma série de operações que resultam na instanciação de um *frame* com valores *default* (padrão). Hipóteses subseqüentes dentro daquele *frame* são geradas pela mudança nos valores de *slots* particulares, e mudança para novos *frames* são alcançadas também por uma busca da memória ou pela geração de resultados experimentais. Três principais componentes controlam o processo de entrada de formulação inicial de hipóteses, através de sua avaliação experimental, *para decidir que há evidência suficiente para aceitar uma hipótese*. Os três componentes, mostrados no topo da hierarquia na figura 15 são: "*ESPAÇO DE BUSCA DE HIPÓTESES*" (*SEARCH HYPOTHESIS SPACE*), "*TESTE DE HIPÓTESES*" (*TEST HYPOTHESIS*), e "*AVALIAÇÃO DE EVIDÊNCIA*" (*EVALUATE EVIDENCE*).

Procura-se brevemente a seguir explicar os principais componentes que estão representados na figura 15, como descritos por Dunbar e Klahr (1989):

1. ***ESPAÇO DE BUSCA DE HIPÓTESES (SEARCH HYPOTHESIS SPACE)***: o objetivo deste processo é formar uma hipótese completamente especificada, que provê a entrada para o "*TESTE DE HIPÓTESES*" (*TEST HYPOTHESIS*). Isto pode ser alcançado de duas formas. A primeira é pela busca na memória por um *frame* que poderia ser usado para gerar uma hipótese (*EVOcando O FRAME - EVOKE FRAME*). A segunda é pela condução de experimentos e induzindo um novo *frame* dos resultados dos experimentos (*INDUCE FRAME*). Uma vez que um *frame* tenha sido instanciado, o sujeito (participante) pode atribuir valores específicos para os *slots* de modo

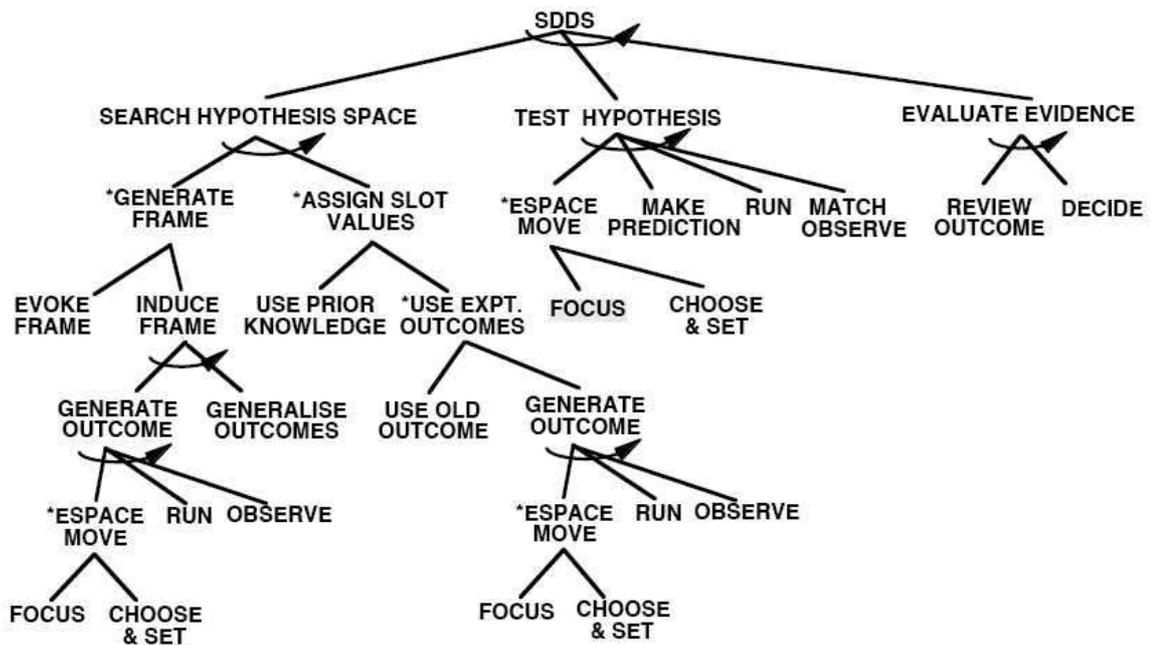


Figura 15: Hierarquia do Modelo SDDS (KLAHR; DUNBAR, 1988)

que uma específica hipótese pode ser gerada. Outra vez, há duas formas em que isto pode ocorrer. A primeira é por conduzir, além disto experimentos para determinar que valores de *slots* deveriam ter (USO DE RESULTADOS EXPERIMENTAIS - USE EXPERIMENTAL OUTCOMES), e a outra forma (a segunda) é pelo preenchimento dos *slots* como seus valores *default* (USO DE CONHECIMENTO PRÉVIO - USE PRIOR KNOWLEDGE).

2. **TESTE DE HIPÓTESES (TEST HYPOTHESIS)**: gera um apropriado experimento para a corrente hipótese, fazendo uma predição. Portanto, deve-se executar ("RUNS") e observar o resultado do experimento. Por sua vez, experimentos são projetados pelo processo "E-SPACE MOVE" (MOVIMENTO DO ESPAÇO-DE-EXPERIMENTOS). Este processo consiste em selecionar um foco central para o experimento e então configura (*setting*) os valores para este foco, uma vez que, os valores de outros aspectos do experimento podem ser atribuídos. O resultado (saída) do "TESTE DE HIPÓTESES" ("TEST HYPOTHESIS") é uma descrição da *evidência* a favor ou contra a *corrente hipótese*, baseado no casamento entre a predição derivada da corrente hipótese e o atual resultado do experimento.
3. **AVALIAÇÃO DE EVIDÊNCIA (EVALUATE EVIDENCE)**: decide se a *evidência* é cumulativa, bem como as outras considerações, para *aceitar* a justificativa, *rejeitar*, ou *continuar* com as considerações referentes à *hipótese corrente*.
4. **GERAR RESULTADO (GENERATE OUTCOME)**: este processo consiste de um "E-SPACE MOVE" (MOVIMENTO DO ESPAÇO-DE-EXPERIMENTOS), que produz um experimento. Então, executa-se ("RUNNING") o experimento e observam-se ("OBSERVING") os resultados. Sendo assim, o processo "E-SPACE MOVE" também ocorre como um sub-processo dentro do

"*ESPAÇO DE BUSCA DE HIPÓTESES*" ("*SEARCH HYPOTHESIS SPACE*").

5. **MOVIMENTO DO ESPAÇO-DE-EXPERIMENTOS (*E-SPACE MOVE*)**: experimentos são projetados pelo processo "*E-SPACE MOVE*". Assim, os referidos autores indicam que o passo mais importante deste processo é o "*FOCUS*", com respeito a alguns aspectos da "*corrente situação*" que o experimento pretende iluminar. Dunbar e Klahr (1989) explicam que "*Corrente Situação*" não é uma circunlocução (rodeio de palavras) para a "*corrente hipótese*", porque é possível ter situações em que não há nenhuma "*hipótese corrente*", mas para isso "*E-SPACE MOVE*" deve funcionar apesar disso. Desta forma, se há uma hipótese, então "*FOCUS*" determina alguns aspectos que são a razão primária para o experimento. Assim, se há um *frame* com valores de *slots* em aberto, então "*FOCUS*" selecionará um daqueles *slots* como a coisa mais importante a ser resolvida. Se não há um *frame* nem uma hipótese, isto é, se "*E-SPACE MOVE*" está sendo chamado por "*INDUCE FRAME*" (*INDUÇÃO DE FRAME*), então "*FOCUS*" faz uma decisão arbitrária para focar em um aspecto da "*corrente situação*". Portanto, uma vez que o valor focal tenha sido determinado, "*CHOOSE*" (*ESCOLHA*) configura um valor no "*Espaço de Experimentos*" que proverá informação relevante para ele, e "*SET*" determina os valores dos restantes, senão menos importante, valores essencialmente produzem um experimento completo.

Portanto, para implementar o modelo SDDS, uma variedade de **REQUERIMENTOS DE MEMÓRIA** estão implícitos nesta descrição da figura 15, e devem portanto, jogar um papel bastante importante no *processo de descoberta*. Contudo, Dunbar e Klahr (1989) explicam que estes aspectos de implementação serão realizados em um momento futuro. Assim, os referidos autores, apesar de não apresentarem os aspectos de implementação sobre o referido modelo, indicam, brevemente, como descrito a seguir, os tipos de informação sobre experimentos, resultados (saídas), hipóteses, e discrepâncias que o modelo SDDS deve *armazenar* e *recuperar*, como segue:

1. O modelo deve *relembrar* aqueles "**RESULTADOS GERADOS**" (*GENERATE OUTCOMES*) que operam em dois contextos: (i) sobre "*INDUÇÃO DE FRAME*" (*INDUCE FRAME*), que é chamado quando não há hipótese ativa; (ii) e quando o sistema está tentando produzir um conjunto de comportamentos que podem então ser analisados pelos "**RESULTADOS GENERALIZADOS**" (*GENERALIZE OUTCOMES*) para produzir um *frame*. Portanto, o modelo SDDS deve ser capaz de *representar* e *armazenar* um ou mais resultados experimentais, a cada vez que ele executa "*INDUÇÃO DE FRAME*" (*INDUCE FRAME*).
2. Um outro tipo de demanda de memória vem da "**AVALIAÇÃO DA EVIDÊNCIA**" (*EVALUATE EVIDENCE*), para ser capaz de pensar (ponderar) a evidência cumulativa sobre a *hipótese corrente*. Desta forma, a partir da "**REVISÃO DE RESULTADOS**" (*REVIEW OUTCOMES*) deve-se ter acesso aos resultados produzidos pelo "**CASAMENTO**" (*MATCH*) em "**TESTE DE HIPÓTESES**" (*TEST HYPOTHESIS*). Sendo assim, esta evidência incluiria selecionar *características* de experimentos, hipóteses, predições, e resultados.

3. Com isso, similar informação pode ser acessada sempre que "VALORES DE SLOTS SÃO ATRIBUÍDOS" (*ASSIGN SLOT VALUES*) pelo chamamento com o "USO DE CONHECIMENTO PRÉVIO" (*USE PRIOR KNOWLEDGE*) ou pelo "USO DE RESULTADOS ANTIGOS" (*USE OLD OUTCOMES*) pelo preenchimento em *slots* não determinados em um *frame*.

Sabe-se, portanto, que desta breve descrição do modelo SDDS (KLAHR; DUNBAR, 1988; DUNBAR; KLAHR, 1989), um grande trabalho deve ser considerado para implementá-lo. Esta não é uma tarefa fácil. Contudo, desta breve explicação sobre este modelo, pretendeu-se delinear um embasamento inicial para o entendimento das três fases (geração de hipóteses, geração de experimentos, e avaliação) que compõem o processo de descoberta científica. Sendo assim, na seção seguinte procura-se mostrar uma extensão para o modelo SDDS, em um modelo representado por quatro espaços de busca para realização de descoberta científica. Esta descrição servirá para poder ampliar o nosso entendimento sobre a quantidade de espaços de busca que podem ser utilizados para a construção de um modelo computacional de descoberta científica.

4.8.9 DESCOBERTA CIENTÍFICA EM UM MODELO DE QUATRO ESPAÇOS DE BUSCA

Em uma seqüência da pesquisa realizada para o desenvolvimento do modelo SDDS, Klahr e Simon (1999) refletem e consideram que modelos de descoberta científica, que são compostos por *dois espaços de busca*, foram adequados para capturar muitos dos comportamentos de participantes no trabalho apresentado por Klahr e Dunbar (1988). Por outro lado, em uma análise do comportamento de participantes em laboratório de micro-mundos complexos (SCHUNN, 1995 apud KLAHR; SIMON, 1999), foi necessário expandir de um "espaço duplo" para um modelo de "espaço quádruplo" como descrito na figura 16.

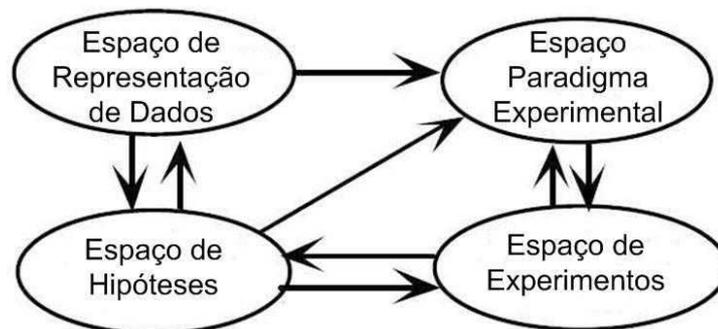


Figura 16: Um Modelo de 4-Espaços de Descoberta Científica (SCHUNN; KLAHR, 1995)

Schunn e Klahr (1995) descrevem este modelo (figura 16) como sendo uma expansão do modelo de "espaço duplo" (que é composto por um "espaço de hipóteses" e um "espaço de experimentos") para um novo esquema, que é representado por um modelo de "espaço quádruplo". Esta nova estrutura sugerida, e que foi concebida da anterior ("espaço duplo"), tem agora o "espaço de hipóteses" original

dividido em dois novos espaços: um "*espaço de representação de dados*" e um "*espaço de hipóteses*". Similarmente, o antigo "*espaço de experimentos*" foi dividido também em dois espaços: um "*espaço paradigma experimental*" e um "*espaço de experimentos*".

Por sua vez, o modelo de "*quatro espaços*" pode ser descrito como segue (SCHUNN; KLAHR, 1995; KLAHR; SIMON, 1999; HULSHOF, 2001): **(i) "*espaço de representação de dados*"** - utilizado para representações ou abstrações de dados, que são escolhidos do conjunto de possíveis *características*; **(ii) *espaço de hipóteses*** - utilizado para representar hipóteses sobre relações causais nos dados que são descritos usando o conjunto de *características* na corrente representação; **(iii) *espaço paradigma experimental*** - utilizado para representar classes (globais) de experimentos (isto é, um paradigma) que identifica o conjunto de fatores *variáveis*, como também os componentes que são assegurados *constantes*; **(iv) *espaço de experimentos*** - utilizado para representar experimentos com *parâmetros ajustados*, que são selecionados e escolhidos por intermédio do *espaço paradigma*.

Existe, portanto, uma interconexão que exerce uma dependência interna existente entre os "*quatro espaços de busca*"¹⁷ que foram especificados na figura 16. Desta forma, uma busca através do "*espaço de representação de dados*" é influenciada pelas hipóteses que tenham sido efetuadas no "*espaço de hipóteses*". Já, para o caso de ter sido efetuada uma mudança na representação de dados experimentais ("*espaço de representação de dados*"), esta pode influenciar as hipóteses que foram induzidas no "*espaço de hipóteses*", e também a classe de experimentos que foram realizados, exigindo mudanças no "*espaço paradigma experimental*", conseqüentemente influenciando o *espaço de experimentos*, para os experimentos que foram conduzidos por intermédio do "*espaço paradigma experimental*".

Desta descrição que foi realizada, deve-se ficar claro que não há um número correto de espaços de busca que devem ser definidos para o desenvolvimento de *modelos de descoberta científica*, pois este fato é inteiramente dependente da natureza do contexto de descoberta (KLAHR; SIMON, 1999). Neste contexto, portanto, certos critérios para definir a quantidade de espaços de busca são considerados como segue (SCHUNN; KLAHR, 1996a, 1996b):

1. **Critérios Lógicos:** Refere-se ao fato de que *espaços de busca* devem ser *distintos* uns dos outros. Para isso, devem-se considerar dois componentes importantes para a definição de um espaço de problema: (a) as metas usadas para buscar o espaço; (b) e as entidades que são procuradas. Desta forma, espaços distintos de problema devem envolver *entidades distintas* e *metas distintas*. Naturalmente, os espaços de problemas definidos podem ser coordenados de tal forma que a informação de um espaço possa ser usada para procurar em um outro espaço, caracterizando assim, a não ambigüidade tão exigida para a tarefa de descoberta científica;

¹⁷A base de teste para este modelo de quatro, espaços, foi conduzida pelo desenvolvimento de um micro-mundo no domínio MilkTruck (SCHUNN; KLAHR, 2006). Este micro-mundo pode ser visto como uma variação do domínio BigTrack. Por sua vez, em MilkTruck, o participante tem que descobrir a função de um comando misterioso que pode ser dado ao caminhão (*truck*).

2. **Critérios Empíricos:** Refere-se ao fato de que deve existir diferenças empíricas entre os espaços. Em particular, eles devem ocorrer (ao menos ocasionalmente) em tempos diferentes, devendo envolver diferentes buscas heurísticas e deve haver diferentes fatores que influenciam o comportamento em cada espaço de busca;
3. **Critérios de Implementação:** Este aspecto é considerado pela possibilidade de ser capaz de representar os espaços de problema distintamente em um *modelo computacional* que seja capaz de executar a tarefa. Em outras palavras, deve ser capaz de mapear inequivocamente o comportamento observado a um estado no espaço de problema. Além do mais, a busca através de um espaço específico de problema deve ser distinto da coordenação entre os espaços de problema. Isto fornece um teste exigente do grau ao qual as distinções teóricas podem realmente esclarecer o comportamento empírico em um nível preciso.

Portanto, nesta seção, foram abordados vários aspectos para que fosse possível o entendimento do que são *modelos computacionais de descoberta científica*. Neste sentido, nas seções seguintes procura-se ampliar estes aspectos pelo entendimento de como é possível conceber *modelos de aprendizagem por descoberta*, que decorrem da explicação que foi efetuada até este momento. Para isso, primeiro, pretende-se explicar os aspectos que envolvem o contexto de aplicação para *aprendizagem por descoberta*, para então, considerar posteriormente explicar o que são *modelos de aprendizagem por descoberta*.

4.9 PRINCÍPIOS SOBRE APRENDIZAGEM POR DESCOBERTA

Segundo Joolingen e Jong (1997) "*aprendizagem por descoberta*" tem sido assunto do estudo na *ciência cognitiva e instrutiva* desde o trabalho de Bruner (1961). Entretanto, segundo os referidos autores, "*aprendizagem por descoberta*" perdeu uma parte do significado pelo seu apelo para *instrução*, seguindo críticas que apontam para a ineficiência e falta de efeito da pura "*aprendizagem por descoberta*" (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1978 apud JOOLINGEN; JONG, 1997).

Com efeito, "*aprendizagem por descoberta*" tem tomado uma renovada atenção, devido a dois fatores determinantes (Joolingen; Jong, 1997): **(i)** A primeira razão é o surgimento de poderosos ambientes computacionais para a simulação educacional, que permitem que o aprendiz esteja engajado em um processo de descoberta científica pelo fato de estarem fazendo experiências, estabelecendo hipóteses e testando-as. Aliado ao fato de que os ambientes projetados para este fim, oferecem ao aprendiz o suporte adicional para o processo da descoberta; **(ii)** A segunda razão para esta renovada atenção está no fato de que aprendizagem pela descoberta esta tomando uma essencial posição dentro de novas abordagens para aprendizagem e instrução tal como "*construtivismo*" e "*aprendizagem cognitiva*".

Outro fato importante é que "*aprendizagem por descoberta*" encaminhou-se originalmente para o contexto de "*aprendizagem de conceito*" (BRUNER, 1961), mas esta pesquisa tem evoluído gradualmente para situações mais complexas, em direção a aspectos que envolvem "*descoberta científica*". Desta forma, de acordo com Joolingen e Jong (1996), o campo de estudos em "*aprendizagem por descoberta*" na linha de pensamento de Bruner (1961) tem sido submetido a mudanças, para o que vem sendo referenciado como "*aprendizagem por descoberta científica*". Acrescentando que um começo natural para descrever "*aprendizagem por descoberta*" é observar a pesquisa sobre o processo de "*descoberta científica*" (Joolingen; Jong, 1997).

Esclarece, ainda, que uma importante diferença entre "*aprendizagem por descoberta científica*" e "*descoberta científica*" é que em "*aprendizagem por descoberta científica*" o ambiente no qual descobertas são feitas é geralmente escolhido ou especialmente projetado para a proposta de "*aprendizagem por descoberta*". Contudo, isto não quer dizer que o processo de descoberta em si mesmo é radicalmente diferente, mas geralmente, a representação e o acesso aos dados no ambiente será tal que a descoberta é facilitada. Desta forma, Joolingen e Jong (1997), após esclarecerem estes fatos, passam a se referir a este campo de estudo que foi ampliado (considerando aspectos referentes a "*descoberta científica*"), para abreviadamente referenciar-se somente ao termo "*aprendizagem por descoberta*".

4.9.1 O PROCESSO DE APRENDIZAGEM POR DESCOBERTA

Estudos que têm identificado o "processo de aprendizagem por descoberta" freqüentemente apresentam processos que podem ser também encontrados em uma descrição sobre "*descoberta científica*" (Joolingen; Jong, 1996). Segundo Joolingen e Jong (apud Gijlers, 2005a), estudantes atuam como cientistas reais e executam um número de processos que são bastante similares a um ciclo empírico com definido por De Groot (apud Joolingen; Jong, 1996), que apresenta cinco estágios para execução deste ciclo (Veermans, 2003): orientação, indução, dedução, teste, e avaliação. Para tanto, De Groot reconhece também que nem toda pesquisa decorre de todos os estágios. Pesquisa descritiva e explorativa podem até mesmo restringir o ciclo para orientação e indução somente, gerando hipóteses antes de testá-las.

Na literatura, muitos esquemas de classificações em aprendizagem por descoberta podem ser encontrados. Gijlers (2005a) afirma que a maioria dos esquemas de classificação distinguem processos similares. As quatro maiores categorias são: orientação, geração de hipóteses, teste, e conclusão. Portanto, de modo geral, podem-se descrever alguns esquemas de classificação como segue (Joolingen; Jong, 1996):

- Friedler, Nachmias e Linn (1990), por exemplo, dizem que raciocínio científico abrange capacidades para "(a) definir um problema científico, (b) declarar uma hipótese, (c) projetar um experimento, (d) observar, coletar, analisar, e interpretar os dados, (e) aplicar os resultados, e (f) fazer

predições na base dos resultados";

- Rivers e Vockell (1987) resumem isto com o plano (projetar experimentos), executar (realizar experimento e coletar dados), e avaliar o ciclo (analisar dados e desenvolver hipótese);
- Jong e Njoo (1992) desenvolveram um esquema de classificação que compreende distinguir entre dois processos principais: **(a) processo regulativo** (processos que são necessários para controlar o processo de aprendizagem por descoberta) e **(b) processo transformativo** (processos que diretamente produzem conhecimento). O processo regulativo inclui planejamento, verificação, e monitoramento. O processo transformativo inclui orientação, geração de hipótese, experimentação, e interpretação de dados, como segue (GIJLERS, 2005a):
 - **Orientação:** Durante o processo de orientação, estudantes buscam por informação sobre o domínio de tarefa em mão. Eles identificam as variáveis e parâmetros no modelo e indicam as propriedades gerais do modelo. Orientação pode ser feita com base no próprio conhecimento prévio dos estudantes, informação variável no ambiente de simulação, e informação adicional (por exemplo, provido pelo professor). ;
 - **Geração de Hipótese:** Geração de hipóteses é considerada como um dos processos centrais em aprendizagem por descoberta. Em uma hipótese, os estudantes especificam a relação entre variáveis de entrada e de saída. Pela declaração, aceitação, rejeição e/ou refinamento de hipóteses estudantes constroem um modelo mental do domínio. De um ponto de vista científico, é incorreto referenciar uma hipótese como verdadeira. Uma hipótese que seja confirmada não é necessariamente provada, mas mantém-se provisória;
 - **Experimentação:** Durante o processo de experimentação, estudantes decidem sobre as variáveis que eles querem manipular e observar. Eles especificam o valor das variáveis de entrada e prediz um possível resultado do experimento. A fim de ganhar informação sobre proposições, estudantes devem projetar e executar um experimento que seja satisfeito para pôr essa proposição específica em teste.
 - **Interpretação de Dados:** Uma vez que estudantes conduzem um experimento, eles têm que decidir se os resultados experimentais estão de acordo com suas predições. Os estudantes têm que interpretar os dados experimentais para tomar uma decisão com respeito ao valor verdade das proposições (hipóteses que estão sendo avaliadas). Assim, para se ter uma melhor compreensão dos resultados experimentais, pode-se extrair informações de um número de sub-processos, como por exemplo, informações podem ser obtidas de gráficos e tabelas. Portanto, baseado na interpretação dos dados estudantes podem retornar as suas proposições originais (hipóteses) e extrair uma conclusão.

Para tanto, Gijlers (2005a) conclui afirmando que o papel central no "*processo de aprendizagem por descoberta*" é possibilitar aos estudantes o entendimento de um domínio. Assim, durante o

processo de orientação, o entendimento dos estudantes referente ao domínio ainda não é completo. Estudantes não estão familiarizados com todas as variáveis e relações que representam o conhecimento do domínio. Neste sentido, enquanto estes orientam-se por si mesmos no domínio, podem especificar suas idéias sobre as relações entre variáveis através de **uma proposição (geração de hipótese)**. O valor verdade da proposição especificada ainda é incerto. No **processo de experimentação** estudantes situam suas idéias relacionadas ao domínio (como expressadas em suas proposições) através do teste. Os resultados da experimentação necessitam ser **interpretados** para alcançar um completo entendimento dos dados. Baseados na interpretação dos dados, estudantes revisam suas proposições e decidem se a proposição necessita ser aceita, rejeitada, ou refinada.

4.9.2 APRENDIZAGEM POR DESCOBERTA PARA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIA

Para entender como relacionar aprendizagem por descoberta para educação em ciência, é necessário fazer uma ligeira contextualização sobre as ferramentas de ensino para a transmissão da informação. Neste sentido, pode-se dizer que tradicionalmente as ferramentas de ensino foram usadas principalmente para facilitar a transmissão direta de toda informação relevante aos aprendizes (HULSHOF, 2001). Os aprendizes eram convidados (ou até mesmo forçados) a absorver e assimilar esta informação; nenhuma participação ativa, tal como interação com o material de aprendizagem, foi necessitada em sua parte. As ferramentas de ensino que são usadas em educação determinam ao menos parcialmente como aprendizes estão sendo ensinados: passivamente absorvendo informação ou ativamente engajados em processos de aprendizagem. Bruner (apud HULSHOF, 2001) foi um dos primeiros a distinguir entre um "modo" passivo e ativo de ensino e referenciava a eles como um modo de ensino expositório versus um hipotético. O modo de ensino expositório de ensino segue a abordagem tradicional como descrito. Interessado no assunto, Bruner argumentou que a importância do modo de ensino hipotético aponta para a descoberta em aprendizagem: aprendizes são conduzidos a procurar por si mesmos por regularidades e relacionarem a informação que foi oferecida a eles, assim tornam-se construcionistas (*constructionists*), ou seja, intérprete de leis.

Desta forma, em uma abordagem construtivista, ambientes computacionais para a simulação do pensamento científico para "educação em ciência" mostram-se bastante interessantes para o desenvolvimento de ambientes computacionais de aprendizagem por descoberta, pela simulação do comportamento que estudantes devem exercer para desempenharem um papel ativo através do processo de descoberta, como se estes fossem cientistas mirins, que são estimulados a desenvolverem a investigação científica em uma abordagem construtivista, para descobrir as regularidades existentes através da investigação científica. Neste desafio, aprendizes devem aprender a fazer, fazendo descobertas desta regularidades, proporcionadas pelo ambiente de descoberta.

Portanto, segundo Joolingen (1999) "*Aprendizagem por descoberta*" é um tipo de aprendizagem onde aprendizes constroem seu próprio conhecimento pela experimentação com um domínio e inferem regras dos resultados dos experimentos. A idéia básica deste tipo de aprendizagem é aquela pelo qual os aprendizes podem projetar seus próprios experimentos no domínio e inferir as regras do domínio por si próprios, por estarem realmente construindo seu conhecimento. É assumido, portanto, que a partir dessas "*atividades construtivistas*" eles entenderam o domínio em um nível mais alto do que, quando a informação necessária é somente apresentada pelo professor ou por um ambiente de aprendizagem expositório.

Por outro lado, mas ainda neste contexto de investigação, define-se "*ferramentas cognitivas*" como sendo ferramentas que podem facilitar a aprendizagem do aluno e, para isso, exemplos comuns em ambientes sem o uso do computador podem ser: uma caneta e uma folha de papel. Estas ferramentas funcionam como suporte a processos cognitivos para lembrar ítems, estendendo assim a capacidade limitada da memória de trabalho. Contudo, em ambientes computacionais pode-se considerar "*ferramentas cognitivas*" como sendo processos cognitivos que são facilitados pelo ambiente de simulação computacional que servem de instrumento para a aprendizagem na execução das tarefas do aprendiz, ou seja, exemplos comuns podem ser a utilização de uma janela que facilite a elaboração de alguma modelagem que deve ser realizada no ambiente, ou até mesmo uma calculadora disponibilizada no formato de uma janela.

Neste trabalho remetemos nos a considerar a utilização de ferramentas cognitivas em "ambientes de aprendizagem por descoberta", pela facilidade que o ambiente pode oferecer com o uso de "operações cognitivas" que podem facilitar a habilidade de aprendizagem pela descoberta científica de regularidades encontradas na construção de teorias científicas pelo uso de: indução, dedução, analogia, resolução de problemas, e causalidade em ciência. Neste desafio de desenvolvimento, estas operações cognitivas podem ser fornecidas pelo ambiente de descoberta de forma que o aprendiz tenha um *feedback* com a interação exercida, pela reconstrução de um *teoria inicial* em uma *teoria nova*, reformulada de forma que possa ser um "*sub-conjunto*", ou então, um "*sub-conjunto perturbado*" referente à *teoria inicial* que foi construída por uma comunidade de professores¹⁸. Portanto, para projetar *aprendizagem por descoberta* em ambientes computacionais, necessita-se desenvolver *modelos de aprendizagem por descoberta* que possam possibilitar a *simulação* deste aspectos relacionados ao *raciocínio científico*.

¹⁸Maiores considerações sobre a modelagem tanto da teoria inicial como da teoria nova serão dadas nos capítulos subsequentes.

4.9.3 MODELOS DE APRENDIZAGEM POR DESCOBERTA

De acordo com Joolingen (1999), o desenvolvimento de "*Modelos de Aprendizagem por Descoberta*" são caracterizados por um retorno aos trabalhos de Newell e Simon (1972), Simon e Lea (1974), Qin e Simon (1990) e Klahr e Dunbar (1988). Neste sentido, desenvolver "*Modelos de Aprendizagem por Descoberta*" é retomar os trabalhos de desenvolvimento de "*modelos de descoberta científica*", que de acordo com Klahr e Dunbar (1988) são caracterizados por dois espaços de busca de problemas (figura 17): um espaço de regras (espaço de hipóteses) que são possíveis descrições do domínio; e um espaço de instâncias (espaço de experimentos) que representa os dados que podem ser coletados no domínio.

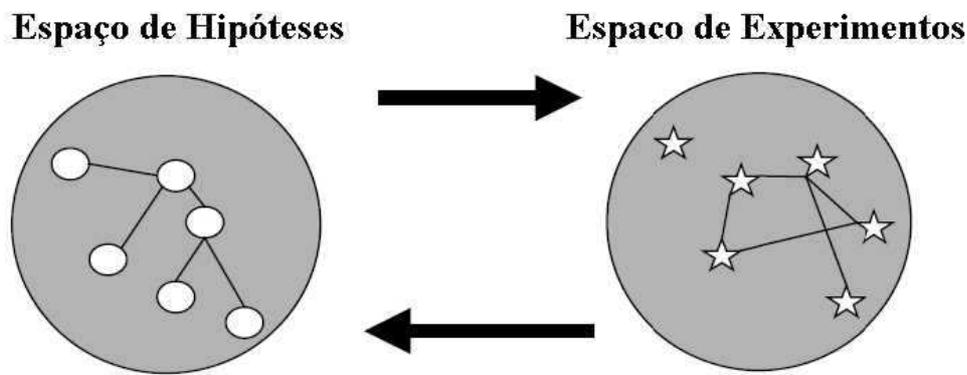


Figura 17: Descoberta em um Espaço de Busca Duplo (Joolingen, 1999)

Neste contexto de desenvolvimento, Klahr e Dunbar (1988) encontraram duas diferentes estratégias para estes espaços de busca, com o estudo realizado para a especificação do modelo SDDS¹⁹: (i) a primeira, é a "*estratégia do teórica*" (*theorist strategy*), que é caracterizada pelo fato de que deve-se declarar uma certa hipótese e fazer uma busca no espaço de experimentos para encontrar confirmação ou rejeição da evidência para esta hipótese. Desta forma, quando hipóteses são rejeitadas, tem-se o caso que primeiro uma nova hipótese foi formada antes que novos experimentos sejam gerados para pôr isto à prova; (ii) a segunda estratégia é conhecida como a "*estratégia do experimentador*" (*experimenter strategy*), nesta estratégia tem-se que primeiro deve-se começar com a "*coleta de dados*" antes que uma nova hipótese seja declarada (estabelecida).

Com efeito, Klahr e Dunbar (1988) indicam que o principal critério de seleção entre a "*estratégia do teórica*" e a "*estratégia do experimentador*" está situado em "*conhecimento prévio*" do descobridor. Sendo assim, quando um aprendiz pode declarar uma hipótese correta (Joolingen, 1999), este talvez a tenha estabelecido utilizando uma lista anterior, provavelmente por intermédio da "*estratégia do teórica*".

Portanto, na tentativa de desenvolvimento de um "*modelo de aprendizagem por descoberta*" que

¹⁹Um resumo da especificação do Modelo SDDS (*Scientific Discovery as Dual Search*) pode ser conferida na seção 4.8.8.

possa concretizar estas estratégias, em uma estrutura representada pelos dois espaços de busca (espaço de hipóteses e espaço de experimentos), Joolingen e Jong (1997) propuseram uma extensão para o modelo SDDS, pela representação explícita do conhecimento do descobridor em termos de "sub-espaços" do "espaço de hipóteses", como descrito na próxima seção.

4.9.3.1 UM MODELO DE ESPAÇO DUPLO ESTENDIDO

Para elaborar um "modelo de aprendizagem por descoberta" que se propõe a estender a proposta feita por Klahr e Dunbar (1988) (modelo SDDS), Joolingen e Jong (1997) se basearam em uma nova representação interna do "espaço de hipóteses". Esta nova representação do "espaço de hipóteses", segue do fato de que um domínio de conhecimento pode ser definido como um corpo coletado de conhecimento (HULSHOF, 2001). Assim, se este conhecimento é descrito na forma de uma coleção (conjunto) de declarações, dois tipos de conjuntos podem ser distinguidos: o conjunto de todas as declarações verdadeiras sobre o domínio e o conjunto de todas as declarações falsas. Desta forma, o número de possíveis declarações é virtualmente ilimitado. Assim, se for considerada a união dos dois conjuntos de declarações (verdadeiras e falsas) este novo conjunto formará um espaço de conhecimento geral, que Joolingen e Jong (1997) chama-o de "**Espaço Universal de Hipóteses**"²⁰, que pode ser visualizado no esquema que foi representado pelos referidos autores na figura 18.

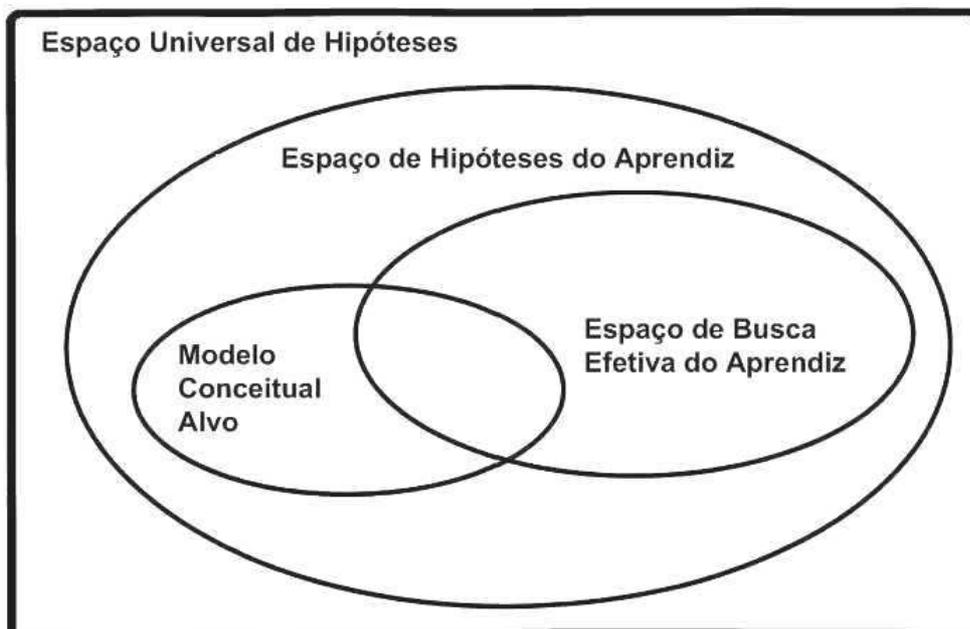


Figura 18: Decomposição do Espaço de Hipóteses como Descrito por Joolingen e Jong (1997)

Por sua vez, Hulshof (2001) afirma que um domínio é sempre limitado por um *conjunto de regras* e um *conjunto de variáveis*, e que isto implica que é possível descrever um domínio com apenas um

²⁰Joolingen e Jong (1997), consideram que "Hipóteses" sobre um domínio tomam a forma de uma declaração que uma certa *relação* assegura entre duas ou mais *variáveis*.

conjunto limitado de *declarações genéricas sobre relações entre variáveis*. Neste sentido, Joolingen e Jong (1997) chamam o conjunto (limitado) de declarações verdadeiras sobre um domínio como "**Modelo Conceitual Alvo**". Mas, por outro lado, os referidos autores fazem distinção entre: o **Espaço de Hipóteses Verdadeiras** e o **Modelo Conceitual Alvo**. Ou seja, *O Espaço de Hipóteses Verdadeiras* contém todas as hipóteses verdadeiras que descrevem o domínio. Já o *Modelo Conceitual Alvo* é um *subconjunto* do *espaço de hipóteses verdadeiras*. Para tanto, um critério aplicável a este modelo é de que todas as hipóteses no "*espaço de hipóteses verdadeiras*" podem ser derivadas. No fim de um processo bem sucedido de descoberta, espera-se que o aprendiz tenha encontrado um conjunto de relações equivalentes ao "*modelo conceitual alvo*", no sentido de que elas impliquem o mesmo conjunto de hipóteses verdadeiras.

Desta forma, explorar um domínio significa que um aprendiz tentará encontrar os limites do modelo conceitual alvo (HULSHOF, 2001). Para tanto, *dois subespaços* (figura 18) representam o conhecimento do aprendiz sobre o domínio (Joolingen; Jong, 1997): (i) **Espaço de Hipóteses do Aprendiz**, que representa as hipóteses que podem ser geradas por intermédio das *variáveis e relações* que existem entre estas variáveis, e que fazem parte do conhecimento do aprendiz, podendo estas serem geradas independente da plausibilidade do julgamento do aprendiz, pela capacidade de busca direta no domínio. Fica caracterizado, portanto, que para ir fora deste espaço, o aprendiz deve adquirir conhecimento sobre novas relações ou variáveis; (ii) Por outro lado, o **Espaço de Busca Efetiva do Aprendiz**, representa o *espaço de hipóteses* que o aprendiz decide ser vantajoso para teste. Sendo este um subespaço do "*espaço de hipóteses do aprendiz*", que contém partes específicas que o aprendiz decidiu explorar. Considera-se, portanto, que consiste de um conjunto de *hipóteses plausíveis*, que o aprendiz testa, e que após este teste, tornam-se verdadeiras, falsas, ou desconhecidas.

Fica restando acrescentar que, com relação ao esboço da figura 18, Joolingen e Jong (1997) afirmam que este retratou somente uma configuração de exemplo e, por questões de clareza, consideram não mostrar o "*espaço de hipóteses verdadeiras*". Assim, com este exemplo, deve-se considerar que o "*modelo conceitual alvo*" não é necessariamente um subconjunto do "*espaço de hipóteses do aprendiz*", e que a configuração exibida na figura não é estática, mas normalmente mudará durante uma sessão. Por exemplo, o "*espaço de busca efetivo do aprendiz*" pode ser ampliado pela adição de novas hipóteses.

Sendo assim, considerar outros exemplos de configurações como o que foi representado na figura 18 é ampliar o entendimento desta representação que foi realizada pelos referidos autores. Apresenta-se, portanto, mais três exemplos de configurações para se ter um melhor entendimento dos critérios de representação que foram aplicados por Joolingen e Jong (1997). Para tanto, estas três configurações de exemplos²¹ estão representadas na figura 19 e são baseadas em uma base de conhecimento *individual do estudante*:

²¹Nesta representação (figura 19) realizada por Gijlers (2005a) observa-se que o autor modificou a legenda que serve para identificar os "*espaços de conhecimento*", chamando assim, o original "*Espaço de Busca Efetiva do Aprendiz*" por "*Espaço de Domínio do Aprendiz*". Contudo, esta mudança se refere somente a nomenclatura utilizada, permanecendo a explicação original que foi realizada por Joolingen e Jong (1997).

- **Na Configura A**, não há uma sobreposição entre o conhecimento atual do estudante (o *espaço de domínio do aprendiz*) e o *modelo conceitual alvo*. Isto implica que, neste momento, o estudante não possui conhecimento relevante do domínio. Por outro lado, visto que o *modelo conceitual alvo* cai completamente no *espaço de hipótese do aprendiz*, significa dizer que este estudante é capaz de declarar proposições relevantes e inferir informação sobre o *modelo conceitual alvo*;
- **Na Configura B**, há alguma sobreposição entre o *modelo conceitual alvo* e o *espaço de domínio do aprendiz* que significa que o aprendiz tem algum conhecimento do domínio e/ou organiza (prepara) alguma proposição (hipótese) relevante em consideração. O que significa dizer que, parte do *modelo conceitual alvo*, está situado fora do *espaço de hipóteses do aprendiz*, o que implica que o estudante tem que aumentar o *espaço de hipótese do aprendiz*, antes que todas as proposições que dizem respeito ao *modelo conceitual alvo* possam ser declaradas. Assim, o estudante pode aumentar o *espaço de hipótese do aprendiz* pelo ato de explorar uma simulação gradualmente, procurar por nova informação num *livro escolar (textbook)*, ou consultar o professor;
- **Na configuração C**, o *modelo conceitual alvo* está completamente fora do *espaço de hipóteses do aprendiz*, isto significa que o aprendiz necessita aprender todas *variáveis* relevantes e *relações* antes de ser capaz de declarar hipóteses relevantes.

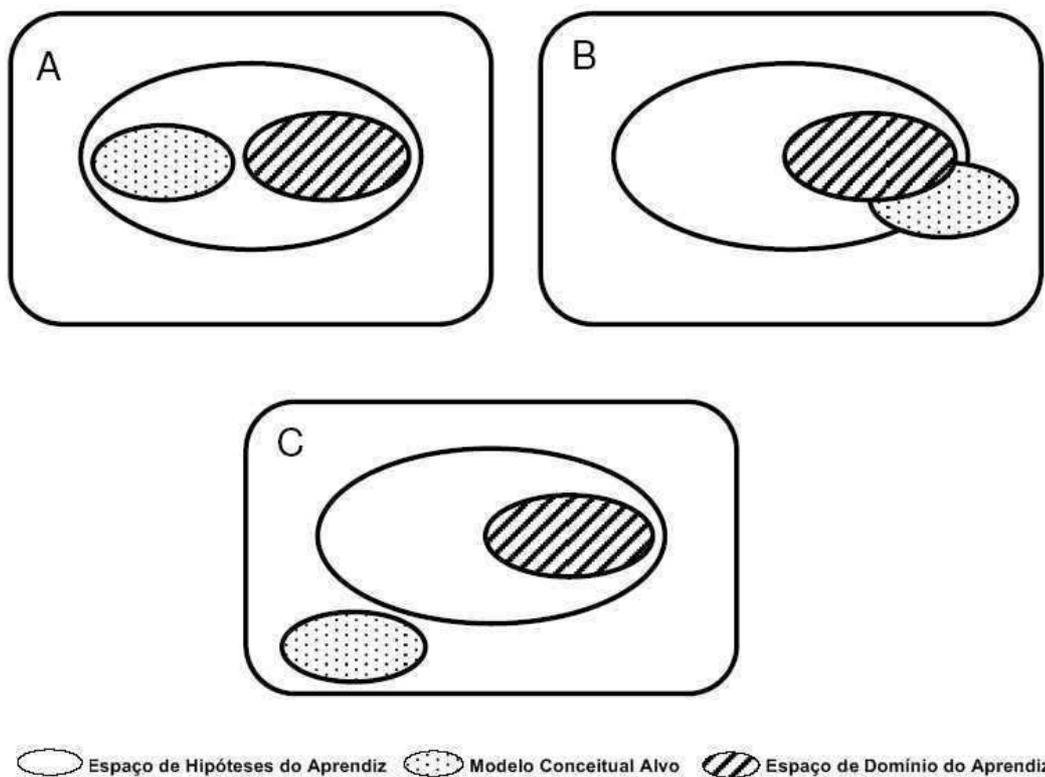


Figura 19: Alguns Exemplos de Configurações de Conhecimento (GIJLERS, 2005a)

Afirma-se, portanto, que o conteúdo do *espaço universal de hipóteses* e do *modelo conceitual alvo* são dependentes do domínio, e estes têm um conteúdo estático (HULSHOF, 2001). Mas, por outro lado, a configuração de *espaço de hipóteses do aprendiz* e do *espaço de domínio do aprendiz* são dinâmicos, isto é, seus conteúdos podem mudar sobre o tempo, e que esta mudança depende do *conhecimento específico prévio* do aprendiz e do *conhecimento genérico* sobre como ele pode usar as variáveis e relações naquele domínio para poder declarar proposições que representem hipóteses.

Com efeito, Hulshof (2001) argumenta que o conhecimento prévio do aprendiz exerce um papel bastante importante no *processo de aprendizagem por descoberta*, pois um aprendiz já pode ter algum conhecimento sobre o que é verdadeiro e o que é falso dentro de um domínio. Podendo assim, declarar proposições (hipóteses) relevantes sobre o domínio por intermédio das relações e variáveis existentes.

Sendo assim, de acordo com a explicação feita por Hulshof (2001) sobre o *modelo SDDS estendido* (JOLINGEN; JONG, 1997), podemos entender que, sabendo que o objetivo de *aprendizagem por descoberta* é mudar o *espaço de hipóteses do aprendiz* de tal forma que este venha a assemelhar-se ao *modelo conceitual alvo*, isto significa dizer que em um processo de busca bem sucedido através do *espaço de experimentos* e *espaço de hipóteses*, deverá levar à conversão do *espaço de hipóteses do aprendiz* a um espaço de declarações verdadeiras e falsas (conforme esquema mostrado na figura 20). Afirma-se então que, *aprendizagem por descoberta* pode ser descrita por um processo de busca pelo qual o *espaço de hipóteses do aprendiz* deve tornar-se mais parecido ao *modelo conceitual alvo*.

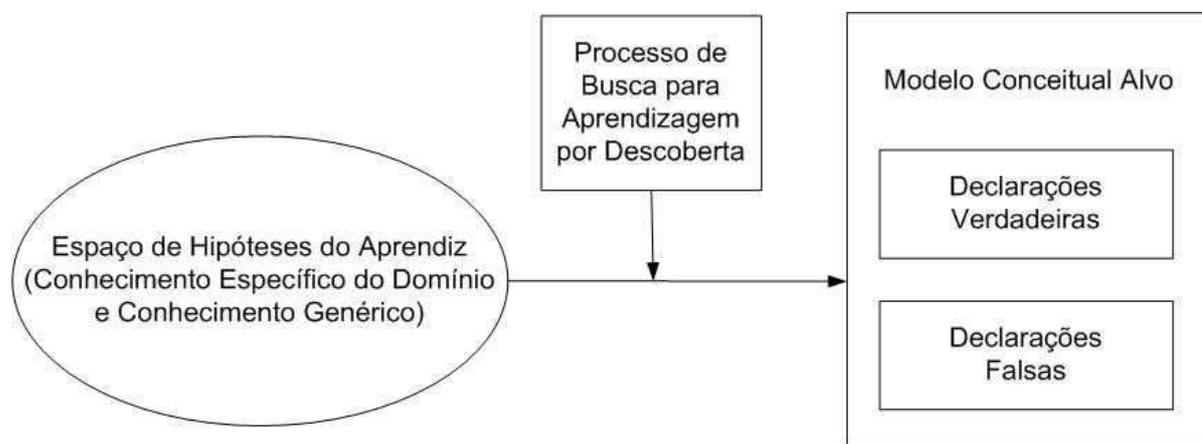


Figura 20: O *Espaço de Hipóteses do Aprendiz* e o Processo de Busca para assemelhar-se ao *Modelo Conceitual Alvo* (HULSHOF, 2001)

Outro fato a acrescentar é que na representação da figura 20, Hulshof (2001) mostrou a presença de *conhecimento específico do domínio* e de *conhecimento genérico* no *espaço de hipóteses do aprendiz*. Para isso, o referido autor explica que *conhecimento específico do domínio* refere-se ao conhecimento de variáveis e relações específicas em um domínio, e *conhecimento genérico* refere-se ao conhecimento geral sobre o tipo de relações matemáticas que existem.

Sendo assim, entende-se que o *conhecimento específico* prévio do aprendiz é o conhecimento

que ele tem sobre a existência de *relações* e características de *variáveis* em um domínio. Já o *conhecimento genérico* pode ser explicado como o conhecimento que é necessário para identificar (reconhecer) e trabalhar com vários tipos de relações matemáticas. Afirmando que este conhecimento tem uma natureza genérica porque ele pode ser aplicado em todos os domínios que consistem de relações entre um número de variáveis.

Por outro lado, no contexto deste trabalho considera-se que *conhecimento específico* é a representação de uma *situação particular* na forma de uma hipótese para uma *causa* e um *efeito*, e que *conhecimento generalizado* consiste de *situações generalizadas* para as devidas hipóteses que representam *leis causais*. Desta forma, *situações particulares* neste caso são *instâncias* para as *situações generalizadas*. Maiores detalhes sobre este assunto será dado em capítulos subseqüentes.

Portanto, sabemos que este capítulo foi muito abrangente, resta-nos delinear algumas diferenças existentes sobre o projeto de sistemas tutores inteligentes e ambientes de aprendizagem por descoberta. Para termos, então, uma visão geral de quais são os módulos que deverão ser projetados para a elaboração de um *modelo de aprendizagem por descoberta* que tornará possível a elaboração de um *ambiente de descoberta* (PARAGUAÇU, 1997), conforme proposta deste trabalho.

4.9.4 DIFERENÇAS ENTRE SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES E AMBIENTES DE APRENDIZAGEM POR DESCOBERTA

Segundo Hulshof (2001), Ambientes de Aprendizagem por Descoberta não são companheiros naturais de Sistemas Tutores Inteligentes. No sentido de que os sistemas tradicionais ITS contêm modelos do aprendiz, que não podem geralmente ser designados como Ambientes de Descoberta, pois não oferecem a quantidade de liberdade necessária ao aprendiz para aprendizagem por descoberta. Assim, Hulshof (2001) explica que tradicionalmente o estereótipo de ITS tem sido sistemas controlados, contrariamente, ao projeto de ambientes de aprendizagem por descoberta, que são baseados em simulação, e que geralmente não oferecem modelagem do aprendiz no sentido de criar um modelo cognitivo do conhecimento do aprendiz. Para isso, o referido autor estipula duas razões para esta última observação:

- A quantidade de liberdade oferecida ao aprendiz em ambientes de aprendizagem por descoberta baseados em simulação é tão grande que um completo modelo do aprendiz está além do alcance (escopo) da aplicação prática, o número de parâmetros é simplesmente grande demais;
- Frequentemente a modelagem do aprendiz é vista como contraditória à aprendizagem por descoberta e ao conceito relacionado de construtivismo, para o qual "medir" os conflitos de conhecimento dos aprendizes com a idéia de que cada aprendiz constrói sua própria representação do mundo externo²².

²²Hulshof (2001) sugere que para uma discussão mais completa deste ponto, pode-se ler por exemplo, Jonassen (1991). Neste mesmo contexto identificamos também uma outra referência, e que foi elaborada por Lewis (2001).

Portanto, Hulshof (2001) explica que é por isso que técnicas tradicionais de ITS, tais como, modelagem do aprendiz e planejamento institucional, não tem sido usado com muita frequência para aprendizagem por descoberta. Sendo assim, ensino imperativo dentro de sistemas tutores não é uma forma de estratégia apropriada de ensino para aprendizagem por descoberta, porque diminui a liberdade do aprendiz.

Entretanto, Hulshof (2001) afirma que estes argumentos considerados plausíveis podem não soar bem, porque eles não provem uma descrição clara, por duas razões: (i) a primeira razão refere-se à visão geral do suporte que é fornecido aos aprendizes em ambientes de aprendizagem por descoberta, que mostram que a liberdade do aprendiz não é totalmente preservada nesses ambientes. Portanto, liberar o uso de técnicas de ITS em ambientes de descoberta baseado neste argumento, devia conseqüentemente também liberar o ambiente do suporte provido aos aprendizes; (ii) já a segunda razão refere-se ao argumento de que os "conflitos da modelagem do aprendiz" com relação à "construção do conhecimento" é menos problemática do que ela aparenta a primeira vista.

Neste sentido, entende-se que a "segunda razão" citada por Hulshof (2001) teve a interpretação de que esta afirmação não corresponde à realidade, pois a "construção do conhecimento" não é "menos problemática" com relação aos "conflitos da modelagem do aprendiz", pois há uma grande dificuldade no projeto para a "construção do conhecimento" em tais "ambientes de descoberta", de forma que, prover um *feedback* ao aprendiz para as suas necessidades exige a utilização de algumas técnicas de ITS.

Desta forma, influenciados pelos problemas com a abordagem tradicional dirigida a ITS, como as dificuldades encontradas pela incerteza de manipulação, e pelas novas direções no campo de educação, tem proporcionado uma mudança da visão em ITS (HOLT et al., 1994 apud HULSHOF, 2001). Sendo assim, em vez de tomar a idéia de projetos de sistemas com detalhados modelos do aprendiz e de especialistas que objetivam o remediamento de conhecimento "incorreto", existe uma tendência que aponta para criar oportunidades para o uso de métodos de ITS em uma forma menos diretiva.

Para tanto, em vez da modelagem do "domínio do conhecimento" que o aprendiz está suposto adquirir enquanto está trabalhando com o ITS, a modelagem pode ser focalizada nos processos que são esperados levar à aquisição desse conhecimento. Portanto, o papel para a "modelagem do aprendiz" em aprendizagem por descoberta pode ser o suporte necessário para assistir o aprendiz no processo de descoberta.

Para fazer isto, o sistema não necessitaria manter um modelo cognitivo completo do domínio do aprendiz, bastaria apenas o conhecimento suficiente para poder inferir somente as etapas feitas pelo aprendiz referente ao suporte para o desenvolvimento do processo de descoberta. Sendo assim, uma abordagem pragmática deve ser advogada (SELF, 1990 apud HULSHOF, 2001), no sentido de que:

- As interações são projetadas de certa forma que a informação necessária pelo sistema é fornecida pelo aprendiz;

- Os conteúdos do modelo do sistema do aprendiz são ligados a ações instrucionais específicas;
- Um colaborativo, papel consultivo para o sistema é adotado.

Com efeito, Hulshof (2001) afirma que a razão para adotar um papel consultivo é que para os outros papéis, ou seja, avanço e geração de problemas, não se tem uma linha de pensamento referente a estas idéias por trás da aprendizagem por descoberta. Neste sentido, aprendizagem por descoberta pode ser vista como um "domínio aberto" no qual não há nenhum critério explícito para o sucesso (BARNARD; SANDBERG, 1994 apud HULSHOF, 2001).

Sendo assim, Hulshof (2001) explica que isto torna o "modelo do especialista" limitado em seu alcance (escopo). Assim o referido autor considera que este modelo não pode conter uma descrição completa do caminho que os aprendizes devem seguir do começo ao fim. Argumentando que um modelo de descoberta formal do especialista está restrito à visão Poppenia em ciência, visto que é somente dentro desta visão que as conclusões logicamente legítimas podem ser extraídas, ao qual podem ser comparadas às conclusões do aprendiz.

Como uma consequência, Hulshof (2001) conclui dizendo que deve-se abandonar o controle referente à concepção em ITS a favor do aprendiz para conceber Ambientes de Aprendizagem por Descoberta. Já que aplicações tradicionais de ITS são caracterizadas como restritivas e obrigatórias, desta forma, uma abordagem diferente é necessária para aplicações em aprendizagem por descoberta. Esta implicação tem uma importante vantagem para o modelo do aprendiz, visto que, o papel do sistema é colaborativo, assim a obtenção da validade do modelo do aprendiz é menos crítica. O alvo, conseqüentemente, não será estabelecer um modelo completo do domínio do aprendiz e do conhecimento de descoberta, mas um modelo que contém apenas a informação suficiente que é necessária para assistir aprendizes em seus processos de descoberta. Portanto, o papel do sistema será restringido, provendo o aprendiz com aconselhamentos que endereçam certas partes do processo que são difíceis para os aprendizes, contudo, o aprendiz deve sentir-se livre para descartar o conselho. O suporte pode ser diretivo, deve se possível ser simulado e, de modo algum, obrigatório.

4.10 CONCLUSÃO

Diante das bases teóricas apresentadas neste capítulo e nos demais, resta-nos apresentar uma integração que torne possível uma formalização em XML para *teorias científicas* em um *modelo de aprendizagem por descoberta* que concretize o uso de ontologias e do ensino baseado em casos. Este modelo híbrido será apresentado no próximo capítulo, juntamente com uma arquitetura do ambiente de descoberta que procura integrar este modelo com duas aplicações: uma para uma comunidade de professores (cientistas) e a outra para alunos aprendizes em ciência. Segue, portanto, após o próximo capítulo, a formalização do modelo idealizado e o desenvolvimento do ambiente de descoberta proposto para esta arquitetura que será apresentada.

PARTE II

O AMBIENTE DE DESCOBERTA

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O AMBIENTE DE DESCOBERTA PROPOSTO

Este capítulo apresenta uma arquitetura para um ambiente de descoberta composto por um modelo híbrido que utiliza o ensino baseado em casos, em conjunto com a organização ontológica aplicada ao raciocínio científico.

5.1 INTRODUÇÃO

A importância a que se dá a este trabalho é a necessidade de projetar ambientes interativos de aprendizagem que estimulem o aluno aprendiz em ciência no entendimento de como relacionar conceitos aplicados a uma teoria, como também a possibilidade de apresentar contradições de raciocínio no uso indevido de alguns conceitos que não satisfazem as restrições estabelecidas. Para isso, pretende-se utilizar a metáfora de contos infantis, ou seja, em vez de utilizar conceitos relacionados a alguma disciplina científica pretende-se utilizar contos infantis para o entendimento da formação das relações existentes para a composição de uma teoria científica.

Desta forma, a arquitetura que será proposta visa integrar duas aplicações com aspectos supostamente distintos (figura 21): a primeira para a documentação de teorias científicas (aplicação do professor); a segunda, para um ambiente de descoberta em ciência (aplicação do aluno). Neste esquema que foi representado na figura 21 pode-se observar que para haver a *integração* destas duas aplicações, foi levantada a hipótese de que é possível elaborar uma *teoria inicial* em um *modelo* que represente quatro visões de conhecimento: hierárquica, relacional, causal, e de questionamento. E, que, estes *modelos* que são representações de *teorias iniciais* são elaborados por uma comunidade de professores, que os torna disponíveis para a aplicação do aluno. Desta forma, um aprendiz pode escolher um destes modelos para a elaboração de uma *teoria nova* e, para haver esta realização, o aprendiz deve ser auxiliado por casos de histórias para formular novas hipóteses.

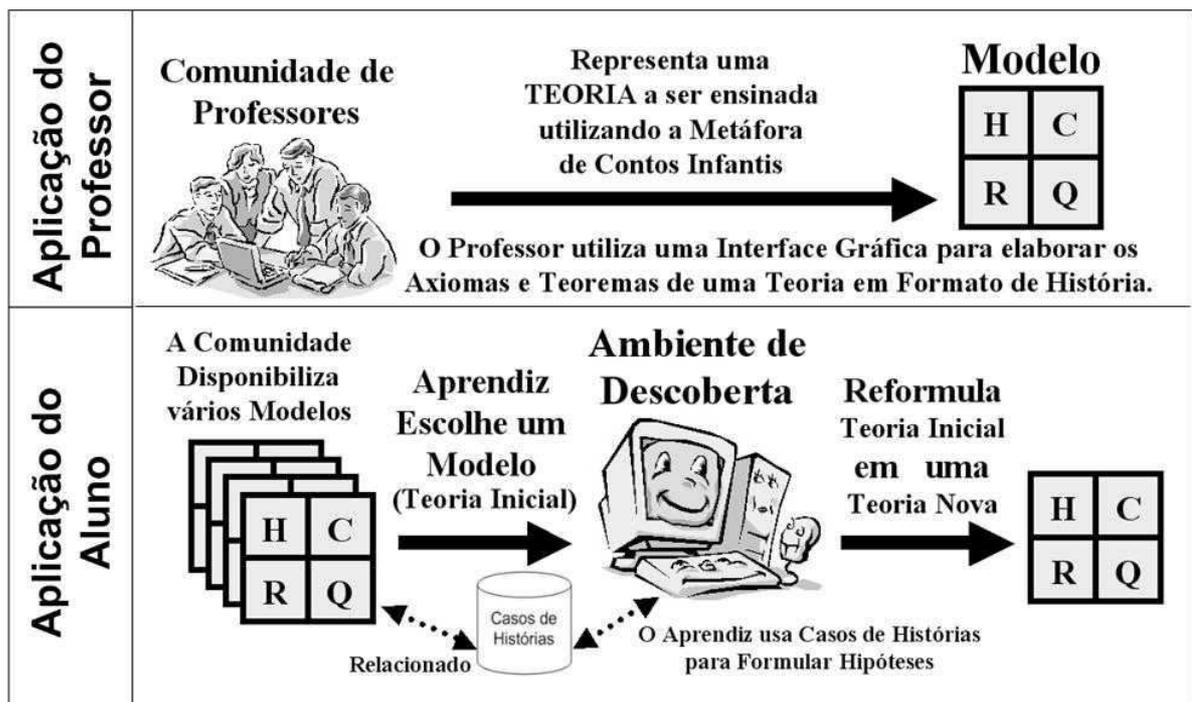


Figura 21: O Ambiente de Descoberta Proposto

Observa-se, portanto, que estas duas aplicações com aspectos supostamente distintos têm um elo em comum, ou seja, a possibilidade de integração destas aplicações por intermédio de formalizações em *modelos científicos* que representem *teorias científicas* (*teorias iniciais* elaboradas por uma comunidade de professores). E que, a partir da disponibilidade destes *modelos*, o aprendiz possa utilizar um *ambiente de descoberta* que possa proporcionar o entendimento de como os *conceitos* (tais como: hierarquia de categorias de classes e objetos, axiomas, hipóteses, teorema, causalidade, e questionamento científico) que são utilizados na formação de uma *teoria científica* estão relacionados. Assim, antes da apresentação desta arquitetura que pretende dar o suporte para a integração destas duas aplicações, pretende-se apresentar uma visão geral do *modelo híbrido (modelo científico)* que foi idealizado e que irá proporcionar a integração destas duas aplicações.

5.2 O MODELO HÍBRIDO IDEALIZADO

Sabe-se que é de grande importância para a ciência a obtenção de inferências para as *explicações científicas*, particularmente a forma referida como "inferência à melhor explicação" (SØRMO; CASSENS; AAMODT, 2005), como um tipo frequentemente corrente de inferência em formação de *hipótese* e *avaliação*. Assim, tendo um conjunto de hipóteses, a hipótese que melhor pode explicar os fatos é escolhida, baseando-se em uma modalidade justificada de inferência, que conduz a hipóteses verdadeiras.

Desta forma, pode-se evidenciar que a obtenção de *conhecimento específico* de peritos na forma de histórias sobre algum domínio do conhecimento pode ser utilizada como forma de *explicação cien-*

tífica para o ensino baseado em casos. Por outro lado, existe também a possibilidade de obtenção de *conhecimento generalizado* com o uso de ontologias. Com isso, é possível recuperar casos de histórias como forma de explicação por parte do especialista, de tal forma que estas histórias são estruturadas em esqueletos, possibilitando a adaptação dos casos recuperados, através da adequação estrutural obtida por intermédio de uma visão hierárquica.

Portanto, um modelo híbrido é necessário para representar *conhecimento específico* em conjunto com *conhecimento generalizado*. Assim, a figura 22 se propõem a representar este esquema, que é uma estrutura que foi adaptada do livro (MAHER; BALACHANDRAN; ZHANG, 1995). Desta forma, o fato aqui apresentado é que a explicação do especialista não é a única forma que pode ser gerada em uma fase de resolução de problemas, *conhecimento generalizado*, também pode ser usado para gerar explicações de forma automática pelo sistema e é, desta forma, que os *conceitos* referenciados na visão hierárquica podem ser explicados, como também, adaptados pela similaridade entre os *conceitos* referenciados na visão hierárquica, modificando, assim, esqueletos de histórias com explicações de especialistas.

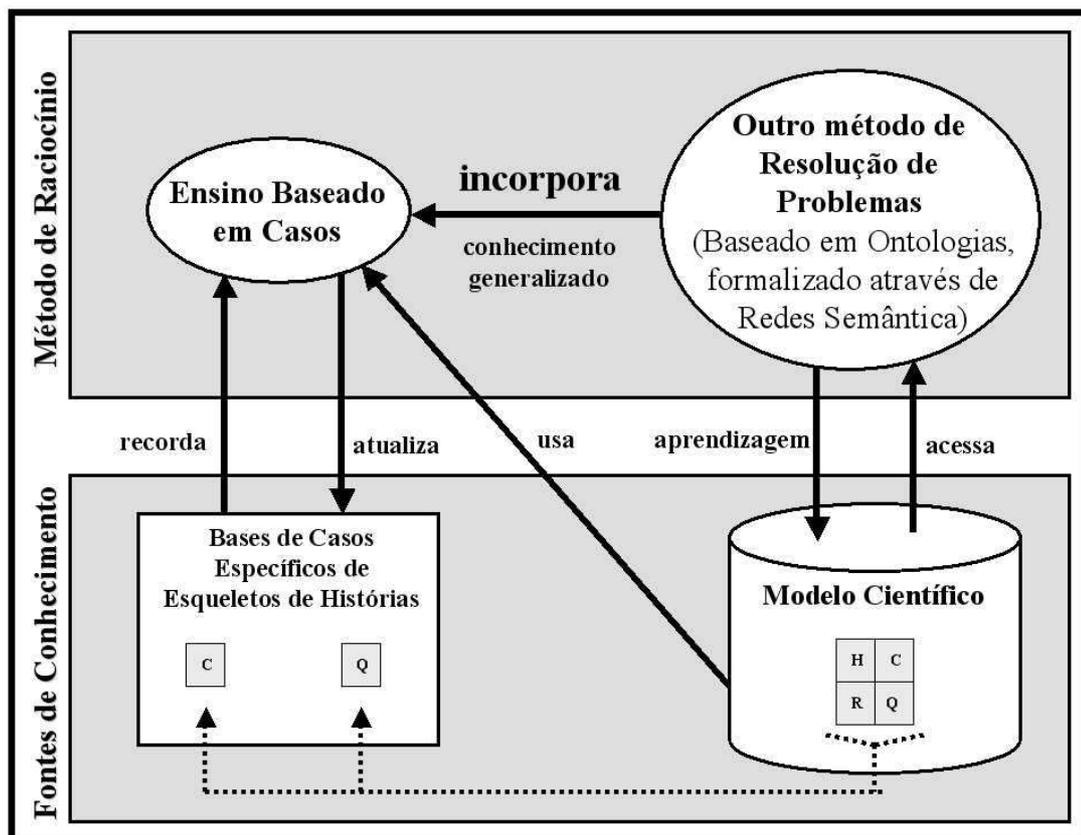


Figura 22: Um Modelo Híbrido para o Ensino Baseado em Casos e Ontologias

Observa-se, portanto, que na representação da figura 22, o *modelo científico* (ver seção 4.5 e 4.6) que foi adotado é composto por quatro visões: hierárquica, relacional, causal, e de questionamento. Este modelo, por sua vez, foi idealizado inicialmente por Paraguaçu et al. (2003) e este é referenciado como o modelo MIDES (*Model Interactif de DEcouverte Scientifique - Modelo Interativo de Descoberta Científica*). Contudo, como já mencionado anteriormente, neste será acrescentado o ensino baseado em casos, e também uma formalização em XML que será apresentada no próximo capítulo. Desta forma, pode-se referenciar a este modelo híbrido que está sendo proposto, como sendo o modelo MIDES++, pois ampliou a idéia inicial proposta por Paraguaçu et al. (2003).

Assim, alguns aspectos importantes devem ser observados na representação da figura 22, ou seja, além das quatro visões citadas, ainda existem duas bases de casos de esqueletos de histórias (uma para a *Visão Causal* e a outra para a *Visão de Questionamento*) que, por sua vez, são utilizadas para possibilitar o ensino baseado em casos. Portanto, a base de casos causal é usada para recuperação de histórias que representam hipóteses causais, onde o aprendiz, no ato de formulação de uma hipótese causal de uma teoria, é obrigado a inserir os índices que servem para recuperação dos casos similares.

Portanto, ao recuperar *casos de hipóteses causais*, o aprendiz deverá escolher o que melhor lhe agrada em termos de explicação. Caso o aprendiz queira uma explicação adicional, ou seja, uma explicação para a história escolhida, ainda pode solicitar os *casos dos questionamentos* que acompanham as hipóteses causais que foram recuperadas. Possibilitando, assim, uma informação adicional no contexto da explicação da hipótese que está sendo formulada pelo aprendiz.

Para um melhor entendimento deste *modelo híbrido*, uma explicação na forma de exemplo será desenvolvida nos parágrafos seguintes. Nesta explicação, pretende-se responder a três perguntas:

1. Como o professor elabora um modelo científico com as quatro Visões: hierárquica, relacional, causal, e de questionamento?
2. Como ele adiciona Casos de Hipóteses Causais e de Questionamentos na forma de história nas duas bases de casos correspondentes que serão utilizadas para o ensino baseado em casos?
3. Como o aprendiz utiliza o modelo elaborado pelo professor para poder reconstruir uma teoria, do modelo que foi representado?

Primeiro, para formular um modelo científico baseado nas quatro visões citadas, necessita-se elaborar uma árvore hierárquica (figura 23) de classes e objetos, que possibilite obter inferências de forma automática, como por exemplo: (Gepeto *instance-of* Homem), (Homem *is-a* Humano), (Humano *is-a* Personagem), (Personagem *is-a* Coisa), (Pinoquio *instance-of* Boneco-de-Madeira), (Boneco-de-Madeira *is-a* Personagem), (Escola *instance-of* Instituicao-Educacional), (Instituicao-Educacional *is-a* Coisa-Presente-na-Historia-da-Teoria), (Coisa-Presente-na-Historia-da-Teoria *is-a* Coisa), (resolveu-fazer-um *instance-of* Propriedade), (ganhou *instance-of* Propriedade), (deu-o-nome-de *instance-of* Pro-

priedade), (enviou *instance-of* Propriedade), (Propriedade *is-a* Coisa), (Para *instance-of* Preposicao), (Preposicao *instance-of* Propriedade), etc.

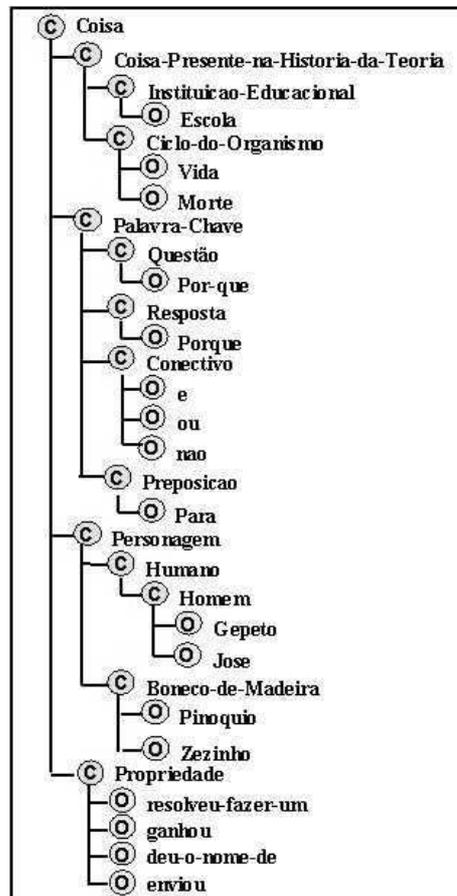


Figura 23: Exemplo de Taxonomia para a Visão Hierárquica

À primeira vista, pode-se questionar por que em vez de utilizar termos científicos para construir uma árvore hierárquica, estejamos utilizando termos relacionados a uma fábula infantil (neste caso a história de Pinóquio), já que o presente trabalho refere-se à construção de teoria científica em *modelos científicos*. Porém, o fato aqui apresentado é que este trabalho apresente um ambiente de descoberta que proporcione a *analfabetos científico*¹ (aprendizes em ciência) a possibilidade de entender através de metáforas com o uso de fábulas, o vocabulário em ciência (termos como: hierarquia de categorias de classes e objetos, axiomas, hipóteses, causalidade, questionamento científico, e teoria científica) e que, a partir do uso destes termos, o aprendiz possa então melhorar o raciocínio científico.

¹"Analfabetos Científicos" são aquelas pessoas incapazes de saber estruturar hipóteses sobre o mundo.

Portanto, com a árvore hierárquica da figura 23 em mãos é possível elaborar relacionamentos com a seguinte estrutura <objeto1-relação-objeto2>² de uma dada teoria. Assim, como resultado da figura 23 pode-se elaborar os seguintes axiomas:

- **AXIOMA-1:** Gepeto | resolveu-fazer-um | Boneco-de-madeira;
- **AXIOMA-2:** Ele | deu-o-nome-de | Pinoquio;
- **AXIOMA-3:** Pinoquio | ganhou | vida;
- **AXIOMA-4:** Gepeto | enviou | Pinoquio para escola.

Como visto, foram estabelecidos quatro axiomas neste exemplo. Contudo, pode-se observar que o **AXIOMA-2** tem uma ligeira representação um pouco diferente, ou seja, em vez de ser utilizado "*Gepeto*" como *objeto1*, foi utilizado uma outra referência, ou seja, "*Ele*". A esse tipo de representação, chama-se "*definição alternativa*", ou (*sinônima*), que já foi mencionado anteriormente na seção 4.6, quando foi definido o que era um sistema axiomático³.

Desta forma, a partir desta representação em *axiomas*, pode-se então elaborar os *teoremas*. Por sua vez, um *teorema* aqui é uma "*hipótese causal*" (*causa -> efeito*) representado por dois axiomas, um para a *causa* e o outro para o *efeito*. Assim, uma *hipótese causal* é representada por uma dada *causa* que implica um dado *efeito*. Como resultado desta representação pode-se elaborar um encadeamento de *hipóteses causais* (**Hipótese-1 -> Hipótese-2, ..., Hipótese-N**) para representar uma *teoria inicial* definida pelo professor e que será um modelo para o estabelecimento de uma *teoria nova* que será elaborada pelo aprendiz no ambiente de descoberta que será proposto por este trabalho.

Suponhamos então que, neste exemplo, que está sendo definido, sejam elaborados alguns teoremas para uma dada teoria sobre a história de Pinóquio, e estes são:

- **HIPÓTESE-1:** *Causa:* AXIOMA-1 implica *Efeito:* AXIOMA-2;
- **HIPÓTESE-2:** *Causa:* AXIOMA-3 implica *Efeito:* AXIOMA-4;
- ... *definição de mais algumas hipóteses* ...
- **HIPÓTESE-N:** *Causa:* AXIOMA-X implica *Efeito:* AXIOMA-Y.

²Assim, entende-se que "*objeto1*" e "*objeto2*" podem ser respectivamente representados cada um por uma única classe ou um único objeto, ou ainda então, representados por uma concatenação de classes e/ou objetos separados por espaços em branco. Por outro lado, nesta estrutura binária relacional, estabeleceu-se também que "*relação*" é um objeto da classe *Propriedade*, e que pode-se negar uma *relação*, introduzindo o objeto *nao* da classe *Conectivo*, seguindo de um espaço mais um objeto da classe *Propriedade*.

³Este tipo de representação foi previsto, e será apresentado no modelo em XML que será representado no próximo capítulo. Portanto, pode-se ter *definições alternativas* para todos os conceitos representados na visão hierárquica, sejam eles classes ou objetos.

Portanto, a partir destas hipóteses tem-se uma *teoria inicial* sobre a história de Pinóquio, com a seguinte estrutura: **TEORIA-INICIAL**: HIPÓTESE-1 implica HIPÓTESE-2 implica HIPÓTESE-3 ... HIPÓTESE-N.

Tendo uma teoria formulada desta forma pode-se ainda acrescentar a cada hipótese gerada uma interpretação (explicação) na forma de história para o ensino baseado em casos. Necessita-se, então, de uma base de casos com hipóteses causais, de tal forma que para recuperar um caso serão utilizados dois *axiomas* como *índices* de recuperação. Uma ilustração desta idéia pode ser observada nas figuras 24, e 25.

Hipótese-1

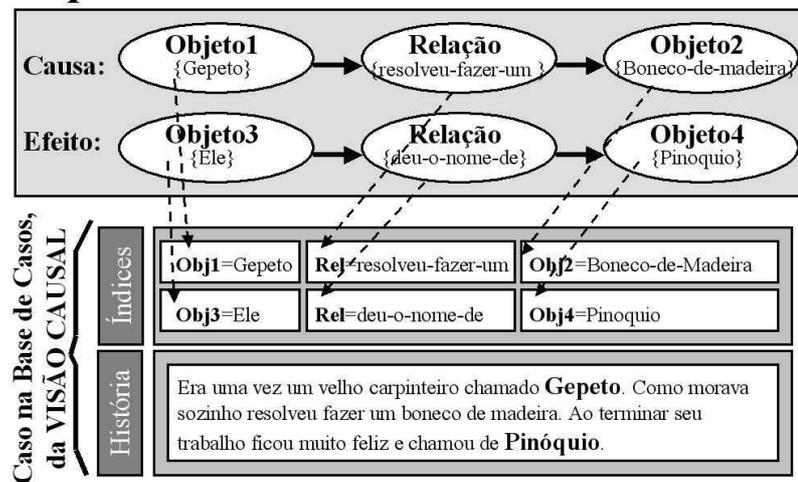


Figura 24: Exemplo de Formulação de Hipótese (Hipótese-1)

Hipótese-2

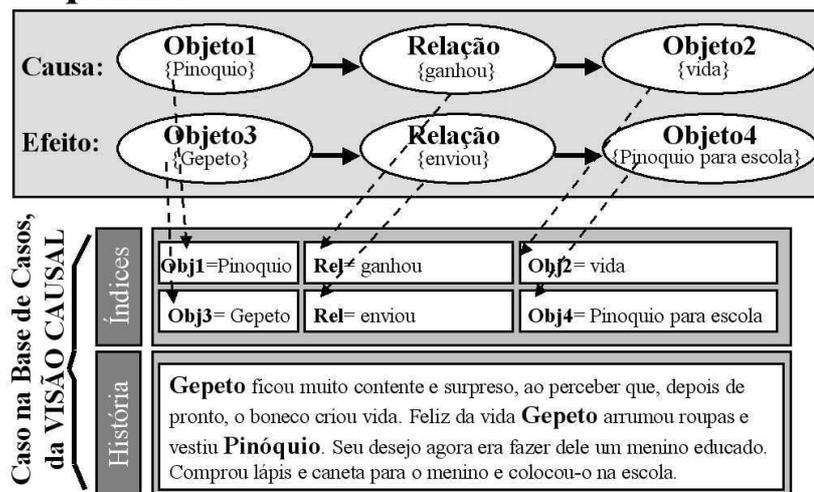


Figura 25: Exemplo de Formulação de Hipótese (Hipótese-2)

Observa-se, portanto, que nas respectivas figuras têm-se os índices que servem para a recuperação de casos similares de hipóteses causais. A história selecionada pelo usuário pode ser adaptada e armazenada como um novo caso. A adaptação referida é semi-automática devido ao armazenamento em um esqueleto que propicia isso e também devido a um mapeamento estrutural que é realizado na visão hierárquica, para ver se o novo caso tem uma adequação estrutural, com o caso antigo.

Desta forma, a *teoria nova*, que será formulada pelo aprendiz será um sub-conjunto da *teoria inicial* que foi formulada pelo professor, ou então um sub-conjunto perturbado com novos elementos (conceitos, ou seja, classes e/ou objetos que estão armazenados na visão hierárquica), de tal forma que os elementos escolhidos devem respeitar a adequação estrutural estabelecida pela visão hierárquica.

Portanto, além de uma *interpretação* que é elaborada por um *rastreamento na visão hierárquica* gerado de forma *automática* pelo sistema, para que o aprendiz possa reformular uma *teoria inicial*, será usado também o ensino baseado em casos como forma de explicação. Porém, as inferências que são geradas de forma automática pelo rastreamento na visão hierárquica quando o aprendiz estiver formulando uma *teoria nova* são para obter *contradições de raciocínio*, ou seja, caso a aprendiz escolha um *conceito*⁴ para formar uma *hipótese causal*⁵ e este não respeite as restrições de *adequação estrutural* da visão hierárquica quando forem confrontadas com a *teoria inicial* que foi formulada pelo professor. Então, será explicado de forma automática o porquê deste *conceito* ser inválido para este raciocínio, pela não adequação hierárquica da escolha do *conceito* por parte do aprendiz. Por exemplo, considere que na teoria inicial seja estipulada para uma *hipótese* a seguinte *causa* (Gepeto | resolveu-fazer-um | Boneco-de-madeira), e que seja estipulada uma *generalização* para esta *causa* (Homem | resolveu-fazer-um | Boneco-de-madeira). Então, caso o aprendiz escolha para *Objeto1* algum *conceito* que não pertença ao *domínio* estipulado para *Homem*, será emitido um erro de forma automática, que foi realizado pela escolha inadequada e foi identificado pelo rastreamento na visão hierárquica.

Por outro lado, após o aprendiz escolher o melhor caso que foi recuperado na base de casos de hipóteses causais, ele ainda recupera uma lista de questões e respostas no contexto de uma explicação adicional para a hipótese em questão. Estas questões, por sua vez, estão associadas a explicações também na forma de histórias, armazenadas em esqueletos que também podem ser adaptados. Estas *questões-respostas* que foram recuperadas com as devidas histórias associadas, fazem parte de uma base de casos para questionamentos. Onde, a indexação dos casos é similar ao que foi explicado na base de casos de hipóteses causais (ou seja, existem dois *axiomas* para representar os índices do caso). Portanto, em uma representação esquemática pode-se visualizar uma teoria formulada a partir de hipóteses causais com questionamentos associados como apresentado na figura 26.

⁴Classe e/ou Objeto.

⁵*Causa*: Objeto1 | Relacao | Objeto2; e *Efeito*: Objeto1 | Relacao | Objeto2.

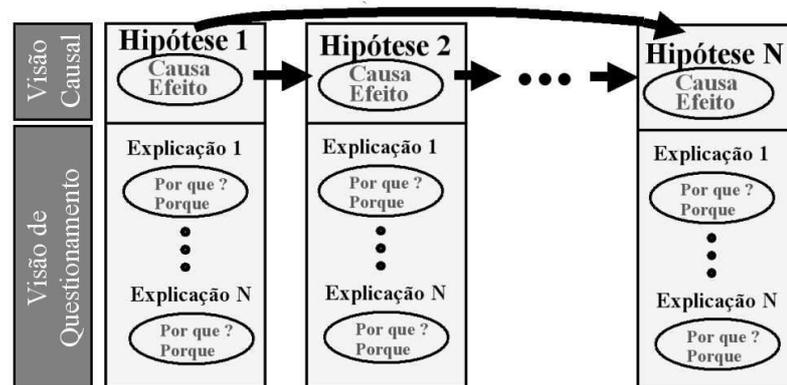


Figura 26: O Esquema resultante da Formulação de um Teoria

Observa-se, portanto, que a *visão de questionamento* está relacionada com a *visão causal*. E neste sentido, pode-se criar casos de questionamentos para as hipóteses em uma teoria. Por exemplo, suponhamos que se deseja criar uma explicação adicional para a **HIPÓTESE-1** que foi mencionada anteriormente. Então, deve-se proceder similarmente ao que já foi explicado quando foram introduzidos os casos para as hipóteses causais, ou seja, primeiro deve-se criar dois axiomas, que serão usados para *indexar* o caso em questão, ou seja, **AXIOMA-5** e **AXIOMA-6**:

- **AXIOMA-1:** Gepeto | resolveu-fazer-um | Boneco-de-madeira;
- **AXIOMA-2:** Ele | deu-o-nome-de | Pinoquio;
- **AXIOMA-3:** Pinoquio | ganhou | vida;
- **AXIOMA-4:** Gepeto | enviou | Pinoquio para escola;
- **AXIOMA-5:** Por-que Gepeto | queria um | Boneco-de-Madeira;
- **AXIOMA-6:** Porque ele | morava | sozinho.

Desta forma, a partir dos dois axiomas que foram inseridos na *visão relacional* pode-se inserir um caso para um questionamento referente a **HIPÓTESE-1** na base de casos de questionamentos, e então associá-lo à teoria que está sendo construída. Para este caso em questão, a *história* associada ao *índice* referente aos axiomas 5 e 6 é a seguinte: "*Gepeto não tinha ninguém, e se sentia só. Um Boneco-de-Madeira iria alegrar sua vida*".

Portanto, nesta seção, foi apresentada uma visão geral sobre duas aplicações, uma para uma comunidade de professores em ciência, e a outra para aprendizes no raciocínio científico. Porém, informação adicional sobre a estrutura do *modelo científico* que foi apresentado com as quatro visões mais as duas bases de casos mencionadas serão dadas apenas quando for realizada a formulação em XML do respectivo modelo no próximo capítulo. A seguir apresenta-se a Arquitetura SLEC, que pretende integrar estas duas aplicações em um único esquema representativo.

5.3 ARQUITETURA SLEC (SISTEMA LÓGICO DE EXPLICAÇÃO CIENTÍFICA)

A Arquitetura SLEC (Sistema Lógico de Explicação Científica) tem o objetivo de ampliar a Arquitetura MIDES (*Model Interactif de Decouverte Scientifique*) (PARAGUAÇU et al., 2003). A idéia consiste em integrar duas aplicações supostamente distintas: uma para a documentação de teorias científicas (PARAGUAÇU et al., 2003); e a outra, para um ambiente de descoberta em ciência. O esquema de representação da Arquitetura SLEC (figura 27) pode ser observado em um esboço que foi dividido em cinco camadas organizadas hierarquicamente, como descritas a seguir:

Camada de Apresentação e Controle: responsável pela identificação do usuário que terá privilégios de professor ou de aluno, podendo entrar ou no *Módulo de Autoria do Professor* ou no *Módulo de Autoria do Aluno*.

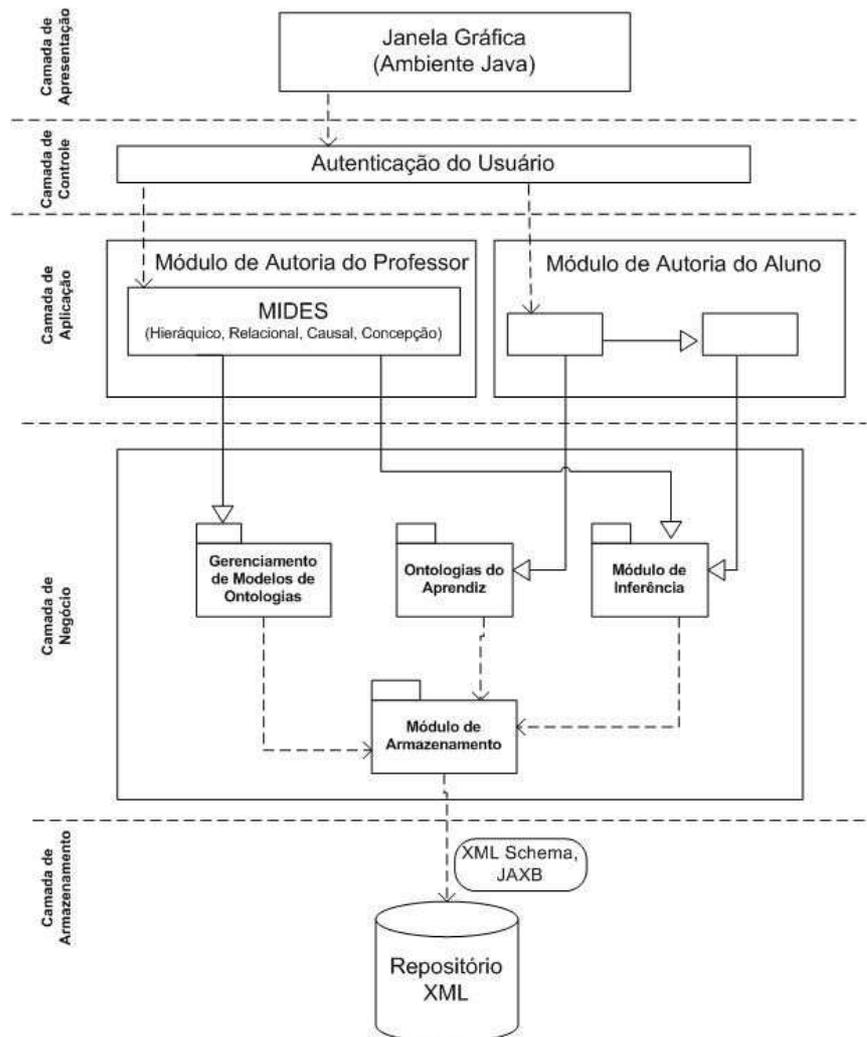


Figura 27: Arquitetura do Sistema Lógico de Explicação Científica (SLEC)

Camada de Aplicação: nesta camada procura-se integrar duas aplicações: o *Módulo de Autoria do Professor* que é um ambiente voltado para documentação de teorias científicas de forma consensual e colaborativa em Modelos Científicos representados em XML, com quatro visões de conhecimento: hierárquica, relacional, causal, e de questionamento; e o *Módulo de Autoria do Aluno* que é um ambiente voltado para melhorar a aprendizagem do raciocínio científico, através do reconhecimento de contradições de raciocínio na formulação de uma teoria científica (baseada na metáfora de contos infantis) por parte de aprendiz.

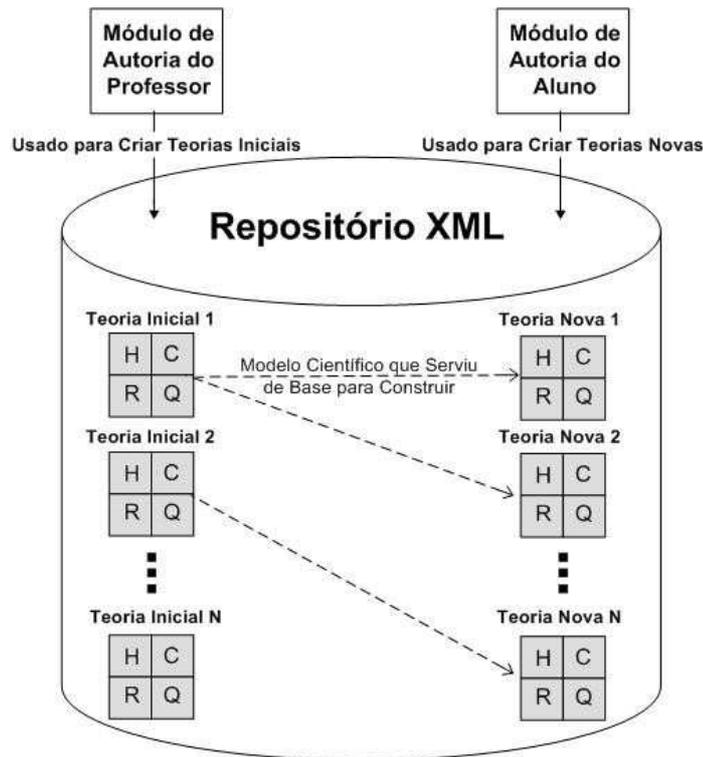


Figura 28: Modelos Científicos no Repositório XML

Para um melhor entendimento das aplicações presentes nesta arquitetura é preciso distinguir o que é possível construir dentro dos modelos científicos (Figura 28) elaborados no *Módulo de Autoria do Professor* e aqueles elaborados no *Módulo de Autoria do Aluno*. Assim, entende-se que uma comunidade de professores (especialistas) devem construir consensualmente uma visão hierárquica de mundo fechado de algum domínio do conhecimento, representado por classes e objetos. Após essa elaboração taxonômica, a comunidade de professores poderá então construir teorias científica (*teorias iniciais*), criando relacionamentos entre os *objetos* e/ou as *classes* estabelecidas. Para então, construir a teoria que deseja através de um encadeamento de hipóteses na visão causal, e também de questionamentos levantados por esta comunidade para as hipóteses geradas.

Sendo assim, através desta representação é possível estabelecer uma *indexação* para *recuperação de casos* de hipóteses em uma base de casos de histórias que mostra a interpretação para as hipóteses estabelecidas. Como também, uma indexação para a recuperação de histórias de questionamentos, pelo

não entendimento de hipóteses que são usadas na elaboração de uma determinada teoria.

Após a elaboração de uma *teoria inicial* em um *Modelo Científico* representado em XML no *Módulo de Autoria do Professor*, pode-se disponibilizar o modelo que foi construído, para que o aprendiz possa reconstruir a *teoria inicial* que foi elaborada pelo professor. Portanto, o aprendiz ao entrar no *Módulo de Autoria do Aluno* terá a possibilidade de escolher um *Modelo Científico* que sirva para a reconstrução de uma *teoria inicial*, para gerar uma *teoria nova*, que pode ser um sub-conjunto da *teoria inicial*, ou um sub-conjunto perturbado com novos *conceitos*, ou seja, classes e/ou objetos que estão representados na visão hierárquica.

Camada de Negócio: serve de interface de comunicação (Figura 28) para gerenciamento de leitura e gravação de Modelos Científicos no Repositório XML. Nesta camada temos internamente representados, quatro módulos como descritos a seguir:

1. *Módulo de Gerenciamento de Modelos de Ontologias* - gerencia todo o conteúdo ontológico gerado pela comunidade de professores, possibilitando a negociação de significados dos dados estabelecidos na interface da aplicação do professor, para o devido empacotamento em objetos java que serão repassados para seu armazenamento em *Modelos Científicos* representados em XML.

Este módulo deve averiguar possíveis erros de inconsistência entre os relacionamentos estabelecidos com as quatro visões do modelo (hierárquica, relacional, causal, e de questionamento). Por exemplo, o usuário deve receber erros de inconsistências para o caso de uma exclusão indevida de algum *conceito* na visão hierárquica, e que gerou alguns erros nas visões: relacional, causal, e de questionamento, da teoria que está sendo elaborada;

2. *Módulo de Ontologias de Aluno* - possibilita ao aprendiz reformular uma *teoria inicial* e armazená-la como uma *teoria nova* em um *Modelo Científico* que foi elaborado no *Módulo de Autoria do Professor*.

Além disso, este módulo ainda fornece o suporte também para os erros de inconsistências que podem ser gerados no momento de elaboração de uma teoria. Para o caso do aprendiz, ficou estabelecido que no caso da visão hierárquica ele só poderá adicionar objetos na hierarquia já estabelecida, para não gerar inconsistências nas teorias iniciais elaboradas pelo professor. Um exemplo de inconsistência que pode ser gerado pelo aprendiz é o ato de exclusão de um algum axioma na visão relacional, que provocará inconsistências na teoria que está sendo elaborada por ele.

3. *Módulo de Inferência:* este módulo fornece o suporte para as duas aplicações desta arquitetura. Porém existem algumas diferenças entre a aplicação do professor, em relação a aplicação do aluno:

- (a) Com relação a aplicação do professor, este módulo averigua os *índices* gerados pelo professor, no ato de concepção referente à *visão causal* e de *questionamento* de uma teoria,

fornecendo casos passados de *hipóteses* e de *questionamentos* que foram recuperados de suas respectivas bases de casos de histórias.

A recuperação dos casos similares é fornecida pela constatação da adequação estrutural obtida pelo suporte fornecido com a visão hierárquica. As histórias recuperadas, por sua vez, fornecem uma *interpretação* que pode ser ignorada, dando a chance para o professor construir a sua própria história. Ou por outro lado, o professor ainda pode escolher um caso passado para que seja adaptado de forma semi-automática, pois ao recuperar um caso é fornecida uma história que vem na forma de um *esqueleto* que pode ser preenchido com alguns ajustes com os índices que foram fornecidos no ato da concepção do caso por parte do usuário. Estes ajustes de forma semi-automática tornam-se possíveis devido à similaridade que é obtida através da visão hierárquica.

- (b) Para o caso da aplicação do aprendiz, a inferência obtida é um pouco diferente, ou seja, o aprendiz poderá obter histórias de casos passados no ato de elaboração de uma *hipótese* e adaptar a história que foi recuperada. Porém, este não tem permissão de criar uma nova história para a hipótese em questão.

Por outro lado, caso o aprendiz tenha alguma dúvida sobre a história que foi fornecida para a hipótese que ele está tentando criar, ele ainda pode solicitar uma ajuda, para melhor interpretar a história que foi fornecida.

Assim, pode-se obter casos de questionamentos que foram criados na aplicação do professor, e que se referem a alguma hipótese. Assim, é fornecida uma lista de questões de dúvidas que podem aparecer sobre aquela hipótese, então o aluno pode escolher alguma questão na lista e obter uma explicação também na forma de história.

4. *Módulo de Armazenamento*: este módulo fornece uma interface para a camada mais acima, tornando possível: *criar, abrir, salvar, salvar como, obter objetos JAXB* (que se referem ao XML), e realizar *operações* (de inclusão e exclusão de: conceitos, axiomas, hipóteses, e questionamentos) em algum *Modelo Científico*. Portanto, para cada operação que está sendo realizada deve-se informar qual das quatro visões do modelo deve-se trabalhar naquele momento. Após realizar todas as operações, pode-se salvar o XML correspondente ao modelo científico em questão com todas as alterações que foram realizadas.

A última camada da Arquitetura SLEC é a ***Camada de Armazenamento***: que representa um repositório usado para armazenar *Modelos Científicos*.

Portanto, através da apresentação das duas últimas seções procurou-se esclarecer em um esboço geral o ambiente de descoberta proposto para este trabalho. Desta forma, foi possível idealizar um *modelo científico* representado por um *modelo híbrido* (com o uso de RBC e ontologias) e, a partir deste modelo que foi idealizado, propor a arquitetura SLEC para integrar as duas aplicações que foram mencionadas no início deste capítulo. Na próxima seção, procura-se esclarecer melhor o contexto de desenvolvimento ao qual está inserido este trabalho e como isso delinear o que será exposto nos capítulos subseqüentes.

5.4 O CONTEXTO DE DESENVOLVIMENTO DESTE TRABALHO

Este trabalho se propõe a ser destinado a um público alvo que não tenha cursado alguma disciplina científica como química ou biologia e que estejam prestes a cursar o segundo grau. Deseja-se, desta forma, saber se houve ou não um acréscimo na forma de raciocinar cientificamente por intermédio da utilização deste ambiente de descoberta que foi proposto. Contudo, para realizar esta fase de validação do referido ambiente é necessário que este esteja operacional. Portanto, para realizar esta fase de implementação foram consideradas duas etapas de desenvolvimento:

1. *Em uma primeira fase* (capítulo 6): deseja-se disponibilizar para o ambiente de descoberta *modelos científicos* de forma que estes possam ser compreendidos *formalmente* pelo sistema proposto pela arquitetura SLEC. Diante desta escolha, foi considerado utilizar *XML* e *XML-Schema*⁶. Sendo assim, pretende-se mostrar neste capítulo como é possível realizar a formalização do *modelo híbrido* que foi considerado para integrar as duas aplicações que foram destinadas para o referido ambiente de descoberta proposto;

2. *Em uma segunda fase* (capítulo 7): considerou-se mostrar como de fato é realizado o desenvolvimento para a realização do ambiente SLEC. Sendo assim, será apresentada neste capítulo a forma de integração para tornar possível a funcionalidade do ambiente de descoberta idealizado.

Portanto, conforme divisão que foi estabelecida para os dois capítulos seguintes, procura-se mostrar ainda nesta seção um pequeno resumo do que será delineado posteriormente, ou seja, como é possível elaborar uma *teoria inicial* e como é possível a partir desta elaborar uma *teoria nova*.

Sendo assim, a partir da aplicação que se destina à comunidade de professores, deve-se seguir os seguintes passos para criar uma *teoria inicial*⁷:

⁶Para maiores detalhes de implementação confira o anexo A deste documento.

⁷Uma explicação detalhada pode ser conferida na seção 7.2.

1. A comunidade deve elaborar os *axiomas* que se destinam à *teoria inicial* a partir de uma *visão hierárquica* de *conceitos* que deve ser estabelecida, formando assim uma *visão relacional* que é representada por várias *triplas* que representam os *axiomas* desta teoria;
2. Formados os *axiomas*, a comunidade pode formular cada *hipótese* da teoria por intermédio de dois *axiomas*, um para representar uma *causa* e o outro para representar um *efeito*. E, com isso, estabelecer um encadeamento causal de *hipóteses* para representar a *teoria inicial*;
3. Após o estabelecimento do *encadeamento causal de hipóteses*, a comunidade deve *generalizar* cada hipótese para atender a situações mais gerais;
4. A partir da *generalização* estabelecida para a *teoria inicial*, necessita-se criar uma base de casos de hipóteses que carrega uma interpretação contextual na forma de história para possíveis interpretações viáveis para a *teoria inicial* que foi estabelecida;
5. Elaborada a base de casos de hipóteses, é necessário identificar questionamentos para possíveis dúvidas que podem ser geradas para os casos de hipóteses. E, a partir deste ponto, criar uma base de casos de questionamentos que carrega também uma interpretação na forma de história;
6. Basta agora selecionar casos de hipóteses pertinentes e dar uma interpretação na forma de história para a *teoria inicial*. Este processo é possível pela possibilidade de recuperação dos casos de hipóteses através das *situações generalizadas* que foram estipuladas para cada hipótese desta teoria.

Desta forma, já em um outro momento, ou seja, quando a comunidade de professores disponibilizar as *teorias iniciais* que foram formuladas, pode-se escolher uma destas teorias para servir de *modelo inicial* para a elaboração de uma *teoria nova* que atenda às *situações generalizadas* que foram estipuladas. Podendo, assim, inserir novas *classes e/ou objetos* que respeitem estas *generalizações* e, também, contextualizar novamente em formato de história a *teoria nova* que está sendo elaborada. Portanto, tendo disponível *teorias iniciais*, o aprendiz pode a partir da segunda aplicação que foi estipulada na arquitetura SLEC, escolher uma destas teorias e elaborar uma *teoria nova*. Este processo pode ser realizado a partir dos seguintes passos⁸:

1. O aprendiz deve escolher uma *teoria inicial*, e o ambiente deve esclarecer para ele que o que será mostrado inicialmente é um história composta por várias cenas, e que estas cenas representam hipóteses de uma teoria que são suposições elaboradas por um cientista (professor), de forma que se tenha uma *causa* e um *efeito* para que cada hipótese possa ocorrer. Desta forma, o ambiente deve esclarecer também que, para cada hipótese que foi realizada, uma *generalização* desta hipótese é elaborada para identificar situações semelhantes àquela hipótese que está sendo feita.

⁸Explicação detalhada conferir na seção 7.3.

Então, o sistema deve apresentar para o aprendiz como cada cena (hipótese) será exibida para ele, e esclarecer que para o aluno entender a história completa ele precisa percorrer cada cena e que, após percorrer todas as cenas, o aluno terá a idéia geral de uma representação de uma teoria que foi elaborada pelo professor;

2. Feito isso, o sistema deve esclarecer para o aluno que para formular uma cena (hipótese), neste ambiente, deve-se primeiro estabelecer uma *causa* e um *efeito* para ela ocorrer, e que estas são formuladas a partir de uma *hierarquia de conceitos*. E afirmar que para cada *causa* e para cada *efeito* que estiver representado nas hipóteses de uma teoria, deve existir uma relação direta com a formulação de *axiomas* que são verdades que estão sendo estipuladas. Assim, através de um encadeamento de hipóteses que são teoremas, ou seja, verdades que estão sendo elaboradas a partir dos axiomas é que se tem a representação de uma teoria, que é o resultado de um encadeamento causal de hipóteses;
3. Desta forma, estabelecidos os conceitos iniciais que estão sendo representados no ambiente, é solicitado para que o aprendiz percorra cada cena (hipótese) da *teoria inicial*, e que este identifique em cada cena as duas situações que estão sendo representadas, ou seja, a *situação particular* que representa aquela hipótese e sua respectiva *situação generalizada*;
4. Após o aprendiz estar familiarizado com o ambiente, é informado para ele que é possível realizar uma simulação para testar a *teoria inicial*, e que ao fazer isso, o aprendiz pode criar uma nova instância para a referida teoria, e que esta instância deve respeitar as generalizações que foram estabelecidas para esta teoria. Por outro lado, é informado também que é possível dar uma nova interpretação na forma de história para a nova instância que está sendo formulada por ele, e que esta interpretação pode ser obtida de uma base de casos de hipóteses. Desta forma, é solicitado que o aprendiz efetue esta simulação, e que para fazer isso ele deve percorrer novamente cada cena da *teoria inicial* e criar uma outra *situação particular* que se encaixe a *situação generalizada* que está sendo referenciada. Caso o aprendiz insira algum *conceito* (classe e/ou objeto) que não seja compatível com sua respectiva generalização será efetuada uma contradição de raciocínio, então o sistema deve informar automaticamente qual foi a inconsistência que ocorreu.

Para um melhor entendimento sobre a elaboração, tanto da *teoria inicial* como da *teoria nova*, é necessário que o leitor procure ler com bastante atenção os detalhes que serão mostrados nos dois próximos capítulos deste documento.

5.5 CONCLUSÃO

Este capítulo pretendeu dar uma visão geral para a proposta de um *ambiente de descoberta* que se torna possível proporcionar ao aluno aprendiz em ciência obter um ganho na forma de raciocinar cientificamente.

Sendo assim, para tornar este desafio possível, foi necessário apresentar um *modelo híbrido* (através do uso de ontologias e do raciocínio baseado em casos - figura 22) e também uma *arquitetura* (figura 27) que pudesse proporcionar a integração das duas aplicações que foram apresentadas na figura 21 com o modelo híbrido que foi proposto.

Por sua vez, para tornar possível concretizar o modelo híbrido que foi idealizado será apresentada uma formalização em XML no próximo capítulo. Esta formalização, visa mostrar como é possível representar as quatro visões (hierárquica, relacional, causal, e de questionamento) que foram propostas inicialmente no modelo MIDES (PARAGUAÇU et al., 2003), e as duas bases de casos de hipóteses e de questionamentos que foram agregadas a este modelo. Tornando, assim, possível ampliar o modelo MIDES para o modelo MIDES++.

Desta forma, com a formalização em XML (capítulo 6) que será realizada para o *modelo híbrido* proposto, torna-se realidade a concretização de um *modelo de aprendizagem por descoberta*, que possibilitará a simulação de um *ambiente de descoberta* (PARAGUAÇU, 1997) para a reconstrução de uma *teoria inicial* em uma *teoria nova* conforme será explicado no capítulo 7.

Porém, antes de proceder com uma leitura completa de todas as seções do capítulo 6, recomenda-se ler inicialmente apenas as seções 6.1 e 6.2 para obter uma visão introdutória sobre XML como justificativa de tecnologia viável para representação de conhecimento. Para então, ler atentamente o *Anexo A* deste documento, pois este faz várias considerações importantes, que visam dar uma visão geral da forma que torna possível a formalização em XML e XML-Schema. Assim, após esta leitura do *Anexo A* pode-se entender mais facilmente as considerações que serão levantadas para a formalização do *modelo de aprendizagem por descoberta* que será apresentado nas demais seções do capítulo 6.

6 FORMALIZAÇÃO XML DO MODELO DE APRENDIZAGEM POR DESCOBERTA IDEALIZADO

Este capítulo tem por finalidade apresentar uma pequena justificativa do porquê de ter sido escolhido XML como forma de representação de conhecimento, bem como mostrar a formalização para o *modelo XML* que foi proposto para a camada de armazenamento da Arquitetura SLEC (capítulo 5).

6.1 INTRODUÇÃO

Procurando identificar o momento histórico que motivou o aparecimento de XML (*eXtensible Markup Language* - linguagem de marcação estendida), identifica-se um relacionamento direto com o surgimento da Internet. Ou seja, sabe-se que a maioria do conteúdo das informações da Internet codificadas em páginas web apresenta-se com marcações pré-definidas em HTML, que fornecem apenas informação de exibição. XML, por outro lado, surgiu para suprir estas limitações, com o propósito de identificar semanticamente os conteúdos descritos nestes documentos.

Desta forma, XML tornou-se um padrão recomendado pela W3C¹ para gerar linguagens de marcação, capaz de descrever diversos tipos de dados (WIKIPÉDIA, 2006), cujo propósito principal é a facilidade de compartilhamento de informações através da Internet. Portanto, XML é utilizado para descrever dados, e pode-se observar esta descrição na representação de *metadados*² para a Web Semântica, e que vem a ser um campo de pesquisa bastante recente na representação de *metadados científicos* para *e-Science* (Ciência Eletrônica) (PEACH, 2006; HEY; TREFETHEN, 2003, 2002).

¹*World Wide Web Consortium* é um consórcio de empresas de tecnologia fundada por Tim Berners Lee em 1994 para levar a Web para o seu potencial máximo, através do desenvolvimento de protocolos comuns e fóruns abertos que promovem sua evolução e asseguram a sua interoperabilidade. O W3C desenvolve tecnologias, denominadas padrões da web para a criação e a interpretação dos conteúdos para Web (WIKIPÉDIA, 2006).

²*Metadados*, ou *Metainformação* (WIKIPÉDIA, 2006), são dados capazes de descrever outros dados, ou seja, dizer do que se tratam, dar um significado real e plausível a um arquivo de dados. Desta forma, um metadado é um dado utilizado para descrever um dado primário. Cujas a importância dos metadados para a web semântica está basicamente ligada à facilidade de recuperação dos dados, uma vez que terão um *significado* e um *valor* bem definidos. Por exemplo, pode-se citar a especificação RDF (*Resource Description Framework*) que é representação em XML e XML-*Schema* (ANTONIOU; HARMELEN, 2004) que têm por propósito formalizar ontologias para a web semântica.

Como resultado deste vasto campo de pesquisa de representação de conhecimento, pode-se ainda observar que existe uma grande tendência para documentar a informação histórica científica através do uso de XML (BOONSTRA; BREURE; DOORN, 2004). Portanto, o uso de XML no campo de representação de conhecimento científico é uma grande realidade. Assim, cada vez mais padronizações em modelos de metadados científicos estão sendo elaborados para uma disseminação cada vez maior de representação de dados científicos. Pode-se observar esta tendência de padronização em XML na especificação representada pelo "*The CLRC Scientific Metadata Model*" (MATTHEWS; SUFI, 2001), que torna disponível através deste documento uma especificação em XML, DTD, e XML-Schema como forma de representação para dados científicos.

6.2 POR QUE XML?

Entende-se que um documento codificado com marcações em XML nos fornece uma metalinguagem definida como um subconjunto de SGML (*Standard Generalized Markup*) (COSTA, 2000) que é uma poderosa linguagem de marcação de definição de linguagens e que têm sido extensamente usada na descrição de documentos há vários anos.

Neste sentido, com XML é possível definir etiquetas semânticas (*semantic tags*) que dividem um documento em partes e identifica as diferentes partes de um documento (CHAVES, 2001). Com isso, os projetistas da estrutura de um documento XML podem definir suas próprias etiquetas (*tags*), para indicar não somente informação estrutural sobre o documento, mas também informação semântica para vários usos do documento para habilitar interoperabilidade semântica (MIZOGUCHI; BOURDEAU, 2000). Com essas características, XML torna-se apropriado para a representação de dados, documentos e demais entidades cuja essência fundamenta-se na capacidade de agregar informação, mostrando-se, portanto, como um bom candidato para a formalização de ontologias.

Desta breve introdução sobre XML procurou-se justificar o seu uso como forma de representação para o *modelo* referente à camada de armazenamento da arquitetura SLEC. Neste sentido, maiores detalhes sobre a tecnologia XML, bem como, a possibilidade de integração por intermédio da linguagem java pode ser conferido no Anexo A deste documento. Por outro lado, conforme embasamento teórico apresentado em capítulos anteriores, procura-se descrever em linhas gerais nas seções seguintes alguns aspectos conceituais que estão presentes no modelo XML que foi idealizado para a arquitetura SLEC, bem como sua respectiva representação XML.

6.3 A ESTRUTURA DE REPRESENTAÇÃO DA VISÃO HIERÁRQUICA E DA VISÃO RELACIONAL

A idéia básica por trás de uma *visão hierárquica* é a de representação de uma estrutura em árvore, que possibilite subir e descer, nesta estrutura, para poder obter o posicionamento correto de um referido *conceito* (representado por um *nó*) em relação a outros conceitos que estejam posicionados acima, ou abaixo dele. Os conceitos a que nos referimos e que serão representados nesta árvore são os conceitos de: *classe*, *classe abstrata*³, e *objeto*.

Portanto, na especificação representada pela figura 29 foi considerado que uma árvore de *conceitos* pode conter um número considerado de conceitos (de zero a infinito). Desta forma, definiu-se uma unidade atômica (elemento chamado *Conceito*) que pudesse representar os *conceitos* que serão definidos nesta árvore.

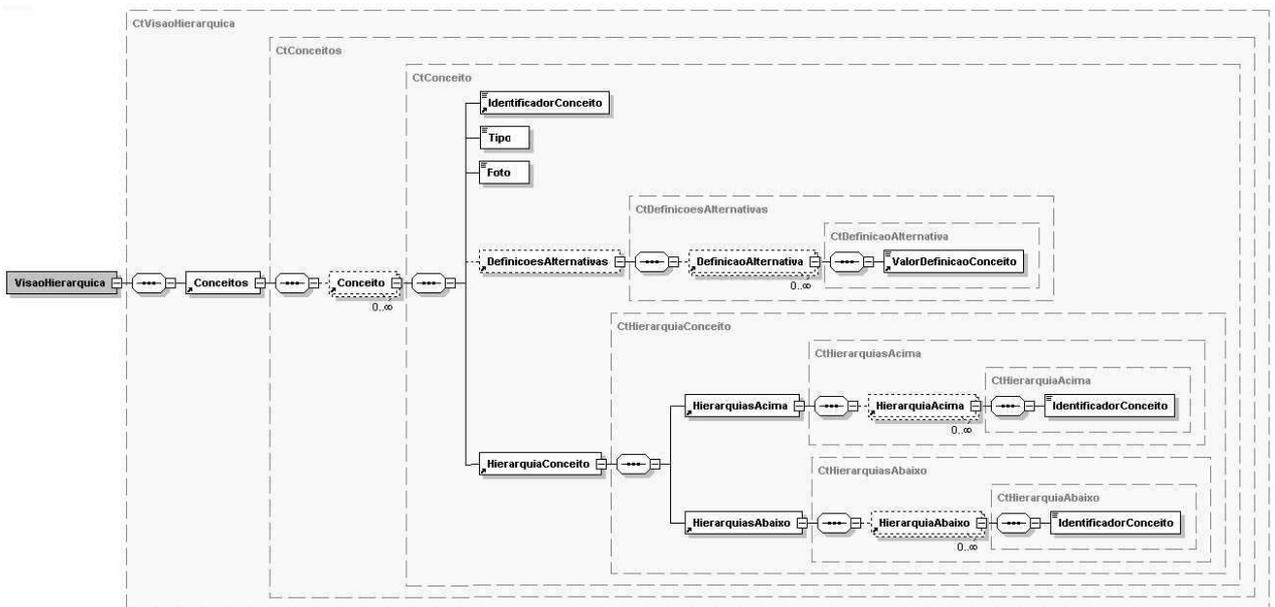


Figura 29: Representação XML-Schema referente à Visão Hierárquica

³Considera-se que um *conceito* que seja referente a uma *classe abstrata* não pode conter instâncias de *objetos*.

Por sua vez, levou-se em conta que esta unidade atômica que representa um *conceito* teria:

- *Um identificador para o conceito*: representado graficamente no *XML-Schema* (figura 29) pelo elemento *IdentificadorConceito*. Assim, nesta representação, este identificador funciona como um campo chave, ou seja, valores inseridos no XML correspondente devem respeitar a unicidade do *conceito*;
- *Um tipo*: aqui o elemento *tipo* do respectivo *XML-Schema* serve para identificar o *tipo* a que se refere o *conceito* ao qual está se definindo, ou seja, no XML correspondente a este *XML-Schema* pode-se inserir os seguintes valores para os tipos dos conceitos: *Classe*, *ClasseAbstrata*, e *Objeto*;
- *Uma foto*: por exemplo, suponha que seja definido um *conceito* do tipo *objeto*, que represente *Gepeto*, e que este *conceito* tenha uma *foto* que está armazenada em algum diretório, ou seja, "*C:/Foto/Gepeto.jpg*". Então deve-se informar o caminho e o nome do arquivo ao qual se refere, mas caso não tenha nenhuma foto, não é necessário informar nada;
- *Definições alternativas* para um determinado conceito: como por exemplo, o conceito *Gepeto* pode ser referenciado por *Ele*, e neste caso, deve ser uma referência válida por se tratar do mesmo conceito em questão;
- *E por último*: uma representação que possa facilitar percorrer o caminho acima e abaixo na árvore, ou seja, a estrutura definida por intermédio do elemento *HierarquiaConceito* (figura 29).

Desta breve explicação, deve-se salientar que a representação da *visão hierárquica* como definida na figura 29 não é uma representação que venha a concretizar o paradigma orientado a objetos, mas, sim, uma representação que possa concretizar uma forma de categorizar conceitos, para que estes possam ser utilizados para uma representação que venha a possibilitar a construção de uma *visão relacional* (figura 30) de conceitos, composta por triplas (*objeto1, relacao, objeto2*) (PARAGUAÇU et al., 2003) que possibilite assim uma estruturação ontológica para representar os *axiomas* de uma especificação em uma dada teoria.

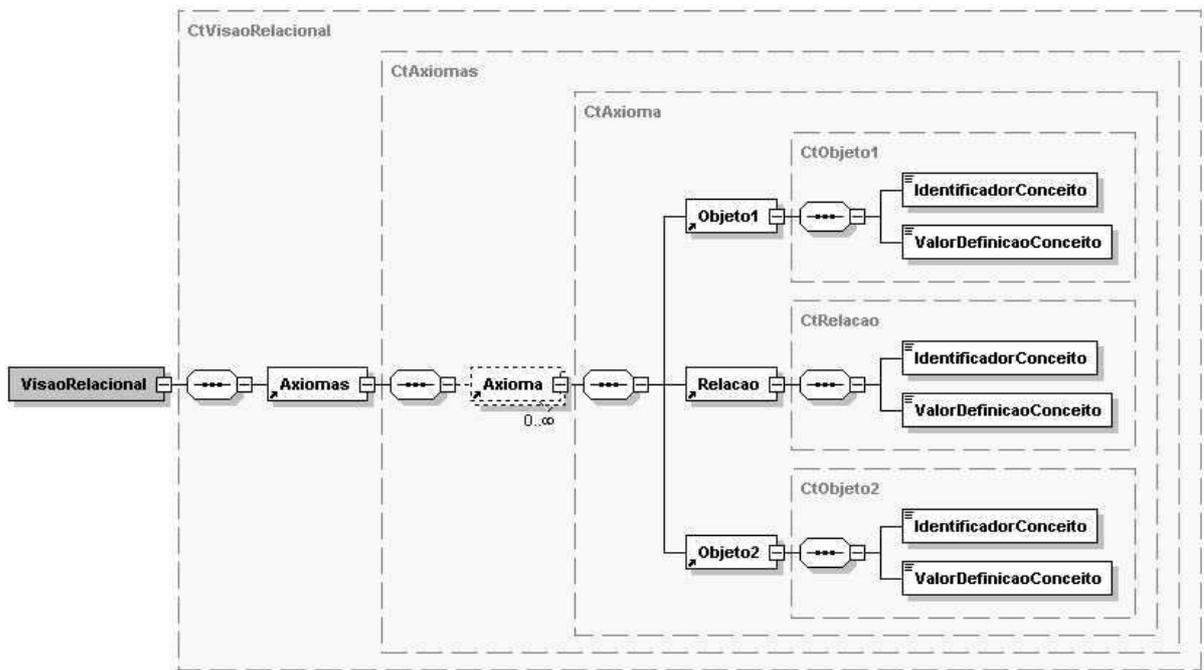


Figura 30: Representação *XML-Schema* referente à Visão Relacional

A título de exemplo considere a figura 23, referente ao capítulo 5, onde foram definidos alguns conceitos em uma representação em árvore. Portanto, dos conceitos que foram definidos nesta taxonomia, considere: *Coisa*, *Personagem*, *Humano*, *Homem*, *Gepeto*, *Boneco-de-Madeira*, *Pinoquio*, *Propriedade*, *resolveu-fazer-um*, e *deu-o-nome-de*. Com a seguinte interpretação: (*Gepeto instance-of Homem*), (*Homem is-a Humano*), (*Humano is-a Personagem*), (*Personagem is-a Coisa*), (*Pinoquio instance-of Boneco-de-Madeira*), (*Boneco-de-Madeira is-a Personagem*), (*Propriedade is-a Coisa*), (*resolveu-fazer-um instance-of Propriedade*), (*deu-o-nome-de instance-of Propriedade*).

Agora, paralelamente a esta taxonomia que foi definida, pode-se mapear esta representação inicial para a representação proposta pelo *XML-Schema* que foi definido na figura 29, em um arquivo XML, como segue:

1. Cabeçalho do Arquivo XML, e etiquetas (*tags*) iniciais referentes aos elementos *<VisaoHierarquica>*, e *<Conceitos>*:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
- <VisaoHierarquica xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:noNamespaceSchemaLocation="C:\XML\SLEC-VisaoHierarquica.xsd">
- <Conceitos>
```

2. Especificação do Conceito: *Coisa*:

```
- <Conceito>
  <IdentificadorConceito>Coisa</IdentificadorConceito>
  <Tipo>ClasseAbstrata</Tipo>
  <Foto />
- <HierarquiaConceito>
  <HierarquiasAcima />
  - <HierarquiasAbaixo>
    - <HierarquiaAbaixo>
      <IdentificadorConceito>Personagem</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAbaixo>
  </HierarquiasAbaixo>
</HierarquiaConceito>
</Conceito>
```

3. Especificação do Conceito: *Personagem*:

```
- <Conceito>
  <IdentificadorConceito>Personagem</IdentificadorConceito>
  <Tipo>ClasseAbstrata</Tipo>
  <Foto />
- <HierarquiaConceito>
  - <HierarquiasAcima>
    - <HierarquiaAcima>
      <IdentificadorConceito>Coisa</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAcima>
  </HierarquiasAcima>
  - <HierarquiasAbaixo>
    - <HierarquiaAbaixo>
      <IdentificadorConceito>Humano</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAbaixo>
  </HierarquiasAbaixo>
</HierarquiaConceito>
</Conceito>
```

4. Especificação do Conceito: **Humano**:

```

- <Conceito>
  <IdentificadorConceito>Humano</IdentificadorConceito>
  <Tipo>ClasseAbstrata</Tipo>
  <Foto />
- <HierarquiaConceito>
  - <HierarquiasAcima>
    - <HierarquiaAcima>
      <IdentificadorConceito>Personagem</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAcima>
  </HierarquiasAcima>
  - <HierarquiasAbaixo>
    - <HierarquiaAbaixo>
      <IdentificadorConceito>Homem</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAbaixo>
  </HierarquiasAbaixo>
</HierarquiaConceito>
</Conceito>

```

5. Especificação do Conceito: **Homem**:

```

- <Conceito>
  <IdentificadorConceito>Homem</IdentificadorConceito>
  <Tipo>Classe</Tipo>
  <Foto />
- <HierarquiaConceito>
  - <HierarquiasAcima>
    - <HierarquiaAcima>
      <IdentificadorConceito>Humano</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAcima>
  </HierarquiasAcima>
  - <HierarquiasAbaixo>
    - <HierarquiaAbaixo>
      <IdentificadorConceito>Gepeto</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAbaixo>
  </HierarquiasAbaixo>
</HierarquiaConceito>
</Conceito>

```

6. Especificação do Conceito: **Gepeto**:

```

- <Conceito>
  <IdentificadorConceito>Gepeto</IdentificadorConceito>
  <Tipo>Objeto</Tipo>
  <Foto />
- <DefinicoesAlternativas>
  - <DefinicaoAlternativa>
    <ValorDefinicaoConceito>Gepeto</ValorDefinicaoConceito>
  </DefinicaoAlternativa>
  - <DefinicaoAlternativa>
    <ValorDefinicaoConceito>Ele</ValorDefinicaoConceito>
  </DefinicaoAlternativa>
</DefinicoesAlternativas>
- <HierarquiaConceito>
  - <HierarquiasAcima>
    - <HierarquiaAcima>
      <IdentificadorConceito>Homem</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAcima>
  </HierarquiasAcima>
  <HierarquiasAbaixo />
</HierarquiaConceito>
</Conceito>

```

7. Especificação do Conceito: *Boneco-de-Madeira*:

```

- <Conceito>
  <IdentificadorConceito>Boneco-de-Madeira</IdentificadorConceito>
  <Tipo>Classe</Tipo>
  <Foto />
- <DefinicoesAlternativas>
  - <DefinicaoAlternativa>
    <ValorDefinicaoConceito>boneco de madeira</ValorDefinicaoConceito>
  </DefinicaoAlternativa>
</DefinicoesAlternativas>
- <HierarquiaConceito>
  - <HierarquiasAcima>
    - <HierarquiaAcima>
      <IdentificadorConceito>Personagem</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAcima>
  </HierarquiasAcima>
  - <HierarquiasAbaixo>
    - <HierarquiaAbaixo>
      <IdentificadorConceito>Pinoquio</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAbaixo>
  </HierarquiasAbaixo>
</HierarquiaConceito>
</Conceito>

```

8. Especificação do Conceito: *Pinoquio*:

```

- <Conceito>
  <IdentificadorConceito>Pinoquio</IdentificadorConceito>
  <Tipo>Objeto</Tipo>
  <Foto />
- <DefinicoesAlternativas>
  - <DefinicaoAlternativa>
    <ValorDefinicaoConceito>Pinóquio</ValorDefinicaoConceito>
  </DefinicaoAlternativa>
  - <DefinicaoAlternativa>
    <ValorDefinicaoConceito>Ele</ValorDefinicaoConceito>
  </DefinicaoAlternativa>
</DefinicoesAlternativas>
- <HierarquiaConceito>
  - <HierarquiasAcima>
    - <HierarquiaAcima>
      <IdentificadorConceito>Boneco-de-Madeira</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAcima>
  </HierarquiasAcima>
  <HierarquiasAbaixo />
</HierarquiaConceito>
</Conceito>

```

9. Especificação do Conceito: *Propriedade*:

```

- <Conceito>
  <IdentificadorConceito>Propriedade</IdentificadorConceito>
  <Tipo>Classe</Tipo>
  <Foto />
- <HierarquiaConceito>
  - <HierarquiasAcima>
    - <HierarquiaAcima>
      <IdentificadorConceito>Coisa</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAcima>
  </HierarquiasAcima>
  - <HierarquiasAbaixo>
    - <HierarquiaAbaixo>
      <IdentificadorConceito>resolveu-fazer-um</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAbaixo>
    - <HierarquiaAbaixo>
      <IdentificadorConceito>deu-o-nome-de</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAbaixo>
  </HierarquiasAbaixo>
</HierarquiaConceito>
</Conceito>

```

10. Especificação do Conceito: *resolveu-fazer-um*:

```

- <Conceito>
  <IdentificadorConceito>resolveu-fazer-um</IdentificadorConceito>
  <Tipo>Objeto</Tipo>
  <Foto />
- <DefinicoesAlternativas>
  - <DefinicaoAlternativa>
    <ValorDefinicaoConceito>resolveu fazer um</ValorDefinicaoConceito>
  </DefinicaoAlternativa>
</DefinicoesAlternativas>
- <HierarquiaConceito>
  - <HierarquiasAcima>
    - <HierarquiaAcima>
      <IdentificadorConceito>Propriedade</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAcima>
  </HierarquiasAcima>
  <HierarquiasAbaixo />
</HierarquiaConceito>
</Conceito>

```

11. Especificação do Conceito: *deu-o-nome-de*:

```

- <Conceito>
  <IdentificadorConceito>deu-o-nome-de</IdentificadorConceito>
  <Tipo>Objeto</Tipo>
  <Foto />
- <DefinicoesAlternativas>
  - <DefinicaoAlternativa>
    <ValorDefinicaoConceito>deu o nome de</ValorDefinicaoConceito>
  </DefinicaoAlternativa>
</DefinicoesAlternativas>
- <HierarquiaConceito>
  - <HierarquiasAcima>
    - <HierarquiaAcima>
      <IdentificadorConceito>Propriedade</IdentificadorConceito>
    </HierarquiaAcima>
  </HierarquiasAcima>
  <HierarquiasAbaixo />
</HierarquiaConceito>
</Conceito>

```

12. Fechamento do arquivo com as etiquetas (*tags*): *Conceitos* e *VisaoHierarquica*.

```

</Conceitos>
</VisaoHierarquica>

```

Com esta especificação em XML da *visão hierárquica* e com as facilidades oferecidas para o programador java com a utilização de uma api JAXB para o *XML-Schema* que foi definido, é possível percorrer uma *lista* de conceitos e chamá-la de forma recursiva para subir ou descer na árvore hierárquica. podendo assim, categorizar conceitos e saber a qual categoria um conceito pertence.

Portanto, com a especificação de um arquivo XML que represente a *visão hierárquica*, pode-se utilizar os *conceitos* que foram definidos para compor os *axiomas* na *visão relacional* (segundo *XML-Schema* representado pela figura 30), como segue:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
- <VisaoRelacional xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:noNamespaceSchemaLocation="C:\XML\SLEC-VisaoRelacional.xsd">
- <Axiomas>
  - <Axioma>
    - <Objeto1>
      <IdentificadorConceito>Gepeto</IdentificadorConceito>
      <ValorDefinicaoConceito>Gepeto</ValorDefinicaoConceito>
    </Objeto1>
    - <Relacao>
      <IdentificadorConceito>resolveu-fazer-um</IdentificadorConceito>
      <ValorDefinicaoConceito>resolveu fazer um</ValorDefinicaoConceito>
    </Relacao>
    - <Objeto2>
      <IdentificadorConceito>Boneco-de-Madeira</IdentificadorConceito>
      <ValorDefinicaoConceito>boneco de madeira</ValorDefinicaoConceito>
    </Objeto2>
  </Axioma>
- <Axioma>
  - <Objeto1>
    <IdentificadorConceito>Gepeto</IdentificadorConceito>
    <ValorDefinicaoConceito>Ele</ValorDefinicaoConceito>
  </Objeto1>
  - <Relacao>
    <IdentificadorConceito>deu-o-nome-de</IdentificadorConceito>
    <ValorDefinicaoConceito>deu o nome de</ValorDefinicaoConceito>
  </Relacao>
  - <Objeto2>
    <IdentificadorConceito>Pinoquio</IdentificadorConceito>
    <ValorDefinicaoConceito>Pinóquio</ValorDefinicaoConceito>
  </Objeto2>
  </Axioma>
</Axiomas>
</VisaoRelacional>
```

Desta forma, com a especificação em XML das visões hierárquica e relacional, a comunidade de professores pode utilizar os conceitos que foram definidos na árvore hierárquica para especificar os axiomas, e utilizar estes axiomas para compor uma forma de recuperação de casos de hipóteses e questionamentos, como explicação que segue na próxima seção.

6.4 REPRESENTAÇÃO E INDEXAÇÃO DE CASOS DE HIPÓTESES E DE QUESTIONAMENTOS

Dado o contexto ao qual se insere este trabalho, ou seja, proporcionar um ambiente de descoberta para a aprendizagem de conceitos relacionados a teorias científicas. Considerou-se apresentar a arquitetura SLEC para tal desafio, onde nesta arquitetura foi mencionado ter uma camada de armazenamento para modelos científicos que seriam formalizados em XML para representar a elaboração de teorias científicas.

Assim, com a idealização desta arquitetura, foi mencionado ainda o fato de se ter armazenado conhecimento especializado de casos passados em formato de história, em conjunto com conhecimento generalizado para a formação dos conceitos que são utilizados em uma dada teoria, conforme modelo híbrido apresentado na figura 22 (capítulo 5). Desta forma, este *modelo híbrido* proporcionaria o ensino baseado em casos, em conjunto com conhecimento generalizado, através de *modelos científicos* que foram representados pelas quatro visões (hierárquica, relacional, causal, e de questionamento). Desta forma, foi considerado que o ensino baseado em casos seria proporcionado por duas bases de casos para tal êxito, uma para casos de hipóteses e a outra para casos de questionamentos.

Porém, o desafio aqui é como possibilitar construir tais bases de casos em um esquema de indexação que utilize os *axiomas (triplos)* que foram elaborados por intermédio dos *conceitos* que foram representados na *visão hierárquica* e que representam a especificação referente a um domínio do conhecimento? A resposta para esta questão segundo Maher, Balachandran e Zhang (1995) está em um esboço representativo que utilize um *esquema de indexação baseado em relacionamento* como proposto pela figura 31, e que segundo os referidos autores, dependendo dos vários relacionamentos que forem definidos, o esquema de indexação pode tomar muitas diferentes formas, como por exemplo: esquema de relacionamento causal, um esquema FBS, ou um modelo de esquema qualitativo.

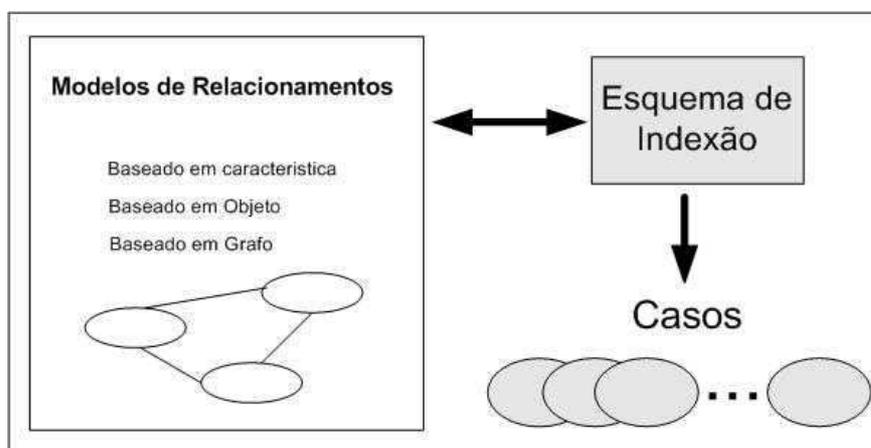


Figura 31: Esquema de Indexação Baseado em Relacionamento

Assim, afirmam ainda os referidos autores que a essência de um *esquema de indexação baseado em relacionamento* é a combinação e composição de uma representação de um modelo de domínio em uma representação indexada. Por sua vez, este tipo de *esquema de indexação* requer o suporte do domínio do conhecimento e é baseado em similaridade abstrata.

Por conseguinte, dado o desafio de concepção proporcionado pela idealização da arquitetura SLEC, foi elaborado um esquema de representação (figura 32) para facilitar o entendimento da forma como é realizada a indexação dos casos de hipóteses e de questionamentos, bem como, uma forma de visualizar como os *índices* dos casos são utilizados para compor as hipóteses de uma dada teoria inicial, como também para uma dada teoria nova.

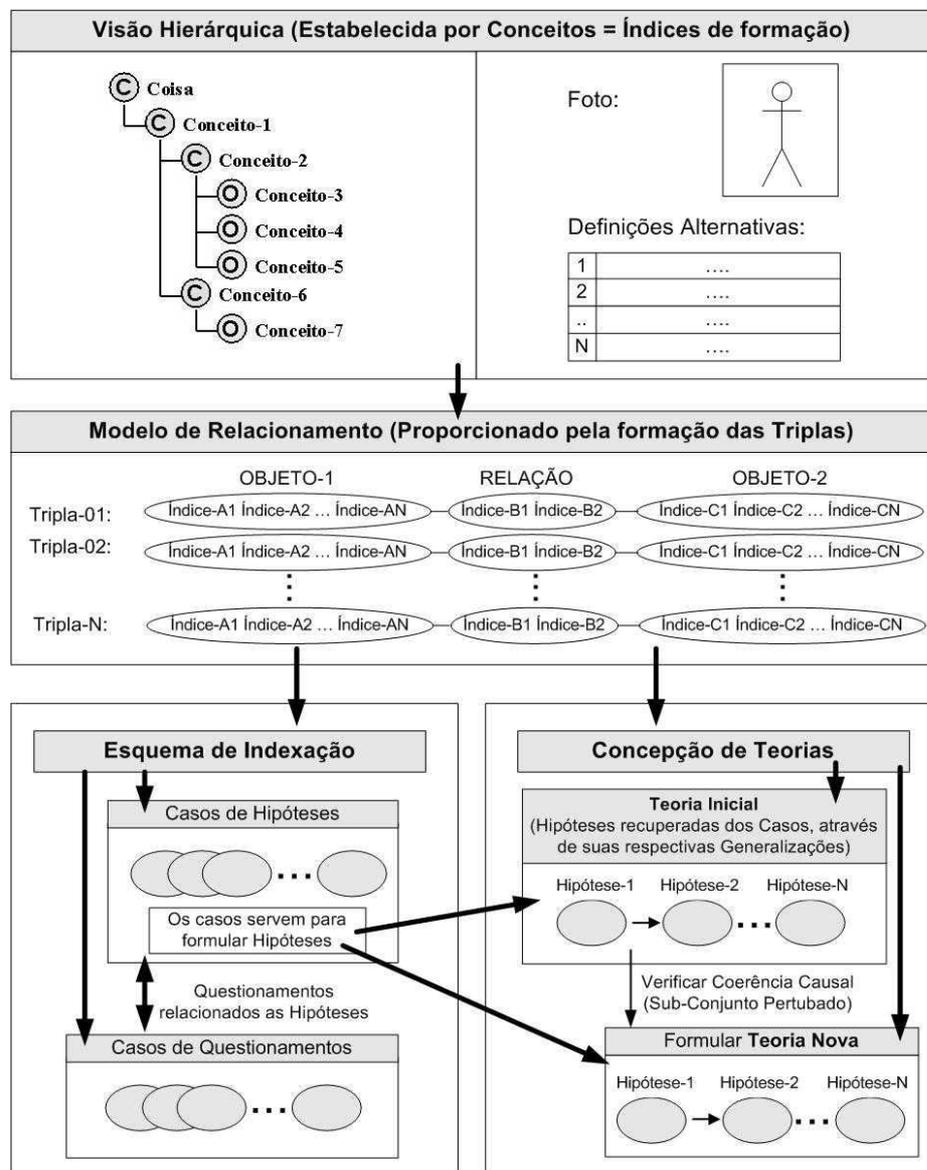


Figura 32: Esquema de Indexação para as Bases de Casos de Hipóteses e Questionamentos

Portanto, de acordo com o esboço representado pela figura 32, entende-se que o *esquema de indexação* para os casos é realizado pela formação de triplas (objeto1, relacao, objeto2), cuja essência é representar hipóteses e questionamentos. Pode-se concluir que os índices de formação destas triplas são os próprios *conceitos (classes o objetos)* que estão representados na *visão hierárquica*.

Sendo assim, cada *tripla* pode assumir o seguinte esquema de representação:

- **Objeto1:** os índices podem ser elaborados por uma concatenação de *conceitos* (classes e/ou objetos que foram representados na visão hierárquica) separados por espaços em branco. Como por exemplo, suponha que *Objeto1* represente três índices⁴, como em: "*Gepeto e Pinoquio*". Desta forma, entende-se que o índice 1 que é representado por "*Gepeto*" é um objeto da classe "*Homem*", e o índice 2 que é representado por "*e*" é um objeto da classe "*Conectivo*", e o terceiro e último índice representado por "*Pinoquio*" é considerado um objeto da classe "*Boneco-de-Madeira*";
- **Relacao:** estabeleceu-se que é representado por um objeto da classe *Propriedade*⁵. Onde, pode-se negar uma *relação*, introduzindo o objeto *nao* da classe *Conectivo*, seguindo de um espaço em branco mais um objeto da classe *Propriedade*;
- **Objeto2:** segue o mesmo esquema de representação que foi estabelecido para *Objeto1*.

Portanto, dada a grande diversidade de conceitos que podem ser representados em uma *visão hierárquica*, fica a cargo da comunidade de professores estabelecer que conceitos devem ser representados, para possibilitar uma possível representação adequada dos referidos conceitos na elaboração de uma representação em *triplas*.

Como já foi mencionado no capítulo 5, estabeleceu-se também que os casos de hipóteses e de questionamentos podem ser representados por um *esquema de indexação* que é realizado por duas *triplas* (observar figuras 24 e 25 do capítulo 5). Sendo assim, para um caso de uma hipótese, tem-se que uma tripla representa uma *causa*, e a outra, representa o *efeito* em uma representação *causal*. Por outro lado, em um caso referente a um questionamento tem-se que, uma tripla representa uma *questão*, e a outra tripla representa uma *resposta*, possibilitando assim, a elaboração de perguntas e respostas para possíveis questionamentos que são realizados pela comunidade de professores na elaboração de casos de hipóteses.

⁴Os três índices foram obtidos da representação hierárquica que foi estabelecida na figura 23 referente ao capítulo 5.

⁵As classes *Propriedade*, e *Conectivo* (ver figura 23 referente ao capítulo 5), como também o objetos *nao* da classe *conectivo*, e os objetos da classe *Propriedade* devem ser definidos pela comunidade de professores que é responsável pela definição da *visão hierárquica* relativa a uma representação referente a um domínio do conhecimento.

Por conseguinte, a representação referente ao *XML-Schema* que especifica as bases de casos de hipóteses e de questionamentos para concretizar o esquema de indexação que foi definido será mostrado logo a seguir. Assim, primeiro será definida a forma de representação (figura 33) para a base de casos de hipóteses, em seguida, define-se a representação para a base de casos de questionamentos, para então seguirmos com nossas considerações.

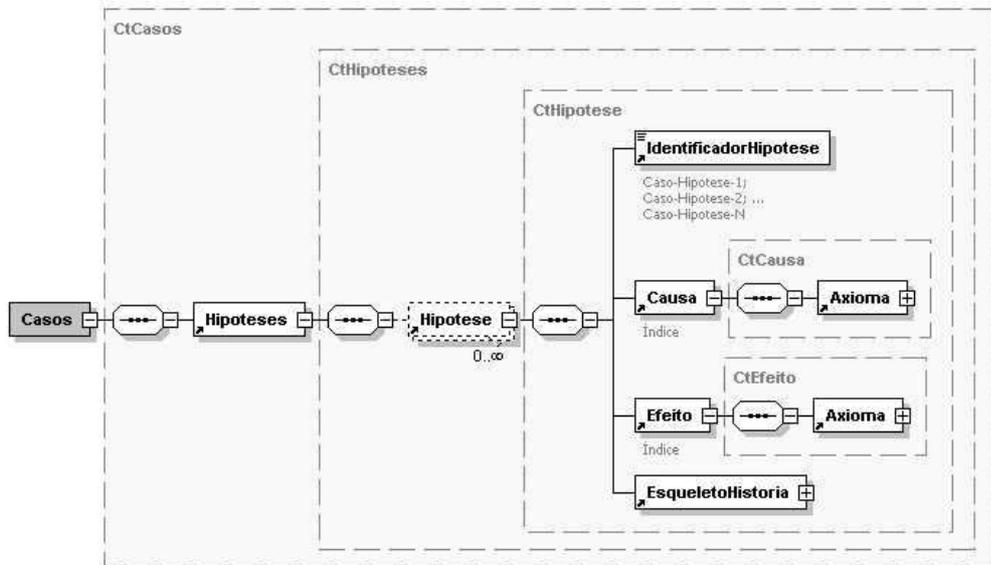


Figura 33: XML-Schema que especifica os Casos de Hipóteses

Como pode-se observar na representação realizada pela figura 33, foi definida uma forma para representar a base de casos de hipóteses. Porém, a representação da referida figura está incompleta, e o restante da especificação pode ser visualizado pelas figuras 34 e 35.

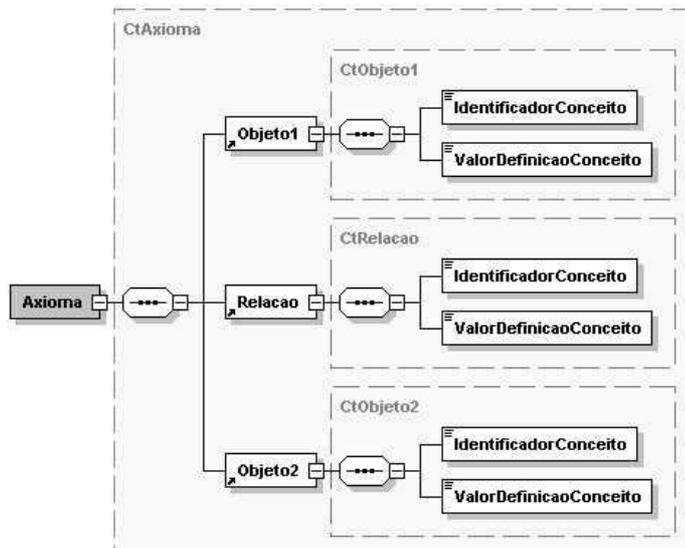


Figura 34: Trecho do XML-Schema que especifica uma Tripla que é definida como um Axioma

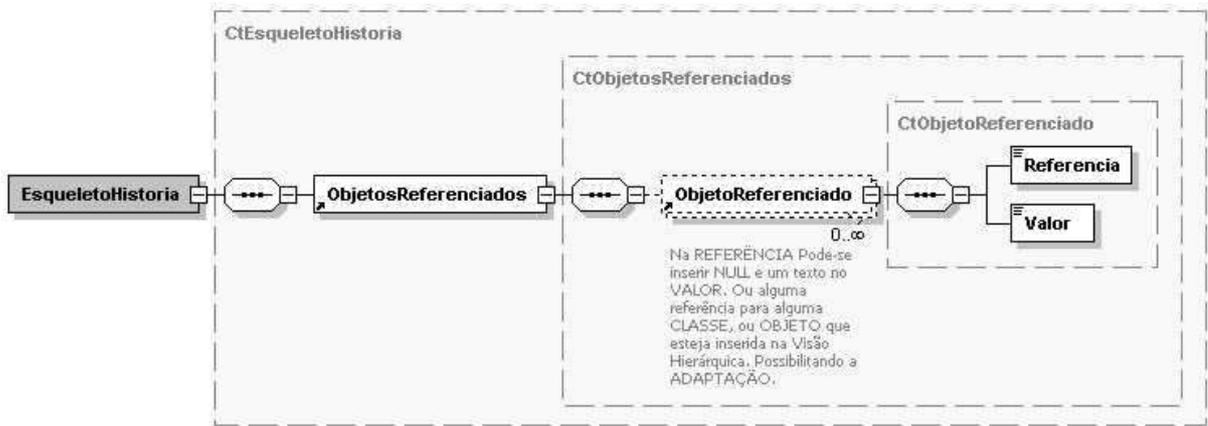


Figura 35: Trecho do XML-Schema que especifica o Esqueleto de uma História

Portanto, uma visualização gráfica completa para o *XML-Schema* que representa a base de casos de hipóteses excede o tamanho para ser mostrado em uma única figura, porém esta representação pode ser mostrada na figura 36.

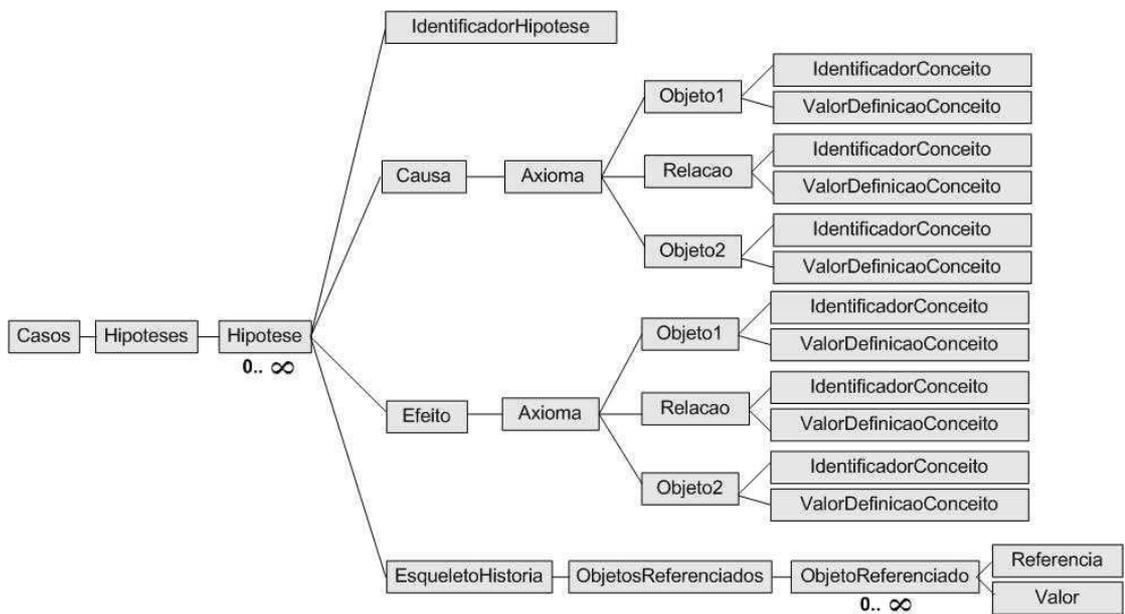


Figura 36: Representação Gráfica referente à Base de Casos de Hipóteses

Sendo assim, pode-se entender a especificação que foi realizada pelo *XML-Schema* referente à base de casos de hipóteses como segue:

- Primeiro, foi definido o *elemento IdentificadorHipotese* para especificar a unicidade de cada caso que seja inserido em um arquivo XML (base de casos de hipóteses) que siga a especificação definida por este *XML-Schema*;
- Segundo, os índices que serão utilizados para recuperar os casos de hipóteses são representados pelos elementos *causa* e *efeito*. Cada um deste, por sua vez, representa uma tripla (elemento *axioma*), que é representada por: Objeto1, Relacao, Objeto2. Por conseguinte, cada elemento desta tripla possui os *elementos*: *IdentificadorConceito*, e *ValorDefinicaoConceito*. Ou seja, o primeiro serve para identificar o conceito que foi definido na visão hierárquica, e o segundo serve para mostrar qual foi a *definição alternativa* que foi escolhida para este conceito em questão;
- E por último, foi definido um elemento chamado *EsqueletoHistoria*, que representa como o próprio nome já diz, um esqueleto para uma história que dá uma interpretação para a hipótese em questão (ou seja, para o caso que foi recuperado em uma formulação de uma teoria), e que esta interpretação pode ser adaptada, pois segue uma especificação que foi definida de acordo com os *conceitos* que são referenciados e que estão na visão hierárquica. Por outro lado, caso queira escrever um texto em vez de inserir um *conceito* da visão hierárquica, basta inserir *NULL* no elemento *Referencia* do arquivo XML correspondente, e um texto no elemento *Valor*.

Analogamente ao que foi apresentado como especificação *XML-Schema* para a base de casos de hipóteses, pode-se definir a base de casos de questionamentos (figuras 37 e 38) com uma ligeira modificação de acordo com explicação que vem a seguir.

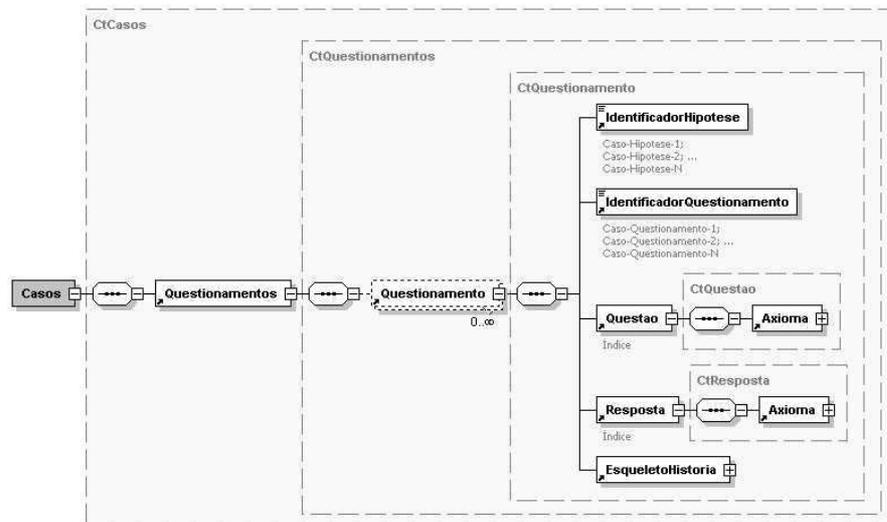


Figura 37: XML-Schema que especifica os Casos de Questionamentos

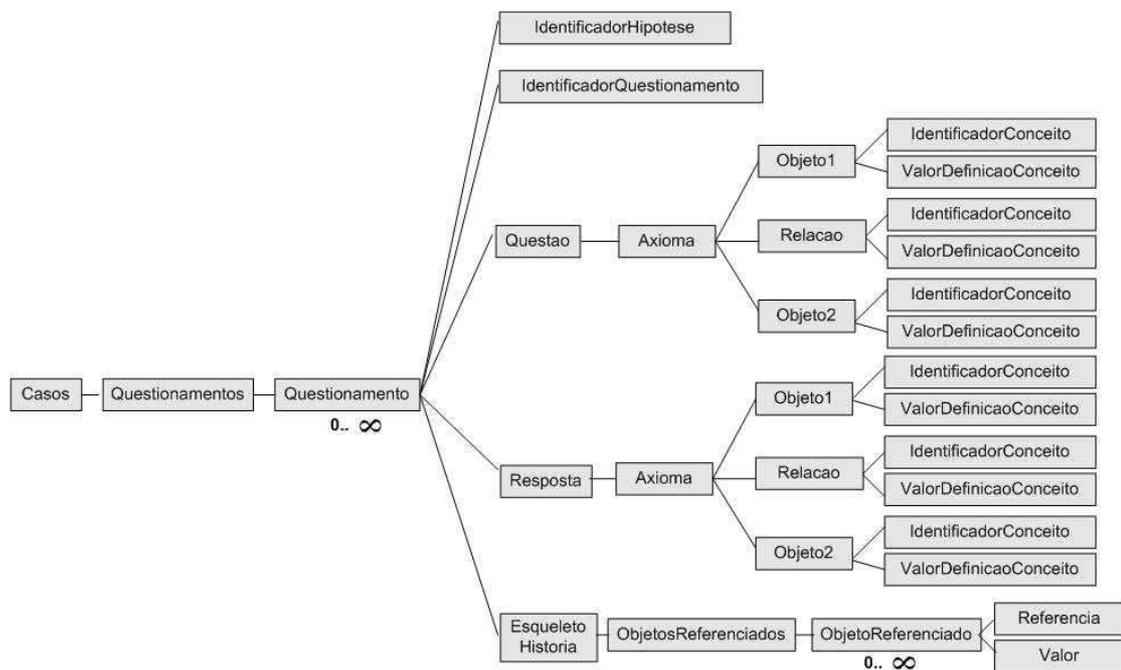


Figura 38: Representação Gráfica referente à Base de Casos de Questionamentos

Observa-se que o *XML-Schema* (figura 37) que representa à base de casos de questionamentos está diretamente relacionada a base de casos de hipóteses. Isto pode ser visto pela definição dos elementos: *IdentificadorHipotese*, e *IdentificadorQuestionamento*. Sendo assim, para cada caso que for inserido na base de casos de questionamentos (arquivo XML), deve-se referenciar para que caso de hipótese o referido questionamento foi realizado. Assim, podem-se ter vários questionamentos que foram realizados para uma única hipótese. Por outro lado, analogamente a explicação que pode ser feita para os demais *elementos* que foram definidos no *XML-Schema* referente à base de casos de questionamentos, segue a mesma explicação que foi realizada para os *elementos* que foram definidos na base de casos de hipóteses, resultando em uma representação gráfica (figura 38) similar à realizada na figura 36.

Assim, a título de exemplo, o leitor pode visualizar uma especificação de um caso de uma hipótese (como idealizado na figura 24, referente ao capítulo 5) em uma respectiva representação XML que será mostrado logo abaixo. Onde, nesta representação pode-se observar como em um respectivo arquivo XML é especificado um trecho de *história* que representa uma dada *interpretação* para o caso em questão.

1. Cabeçalho do Arquivo XML e etiquetas iniciais referentes aos elementos *<Casos>*, e *<Hipoteses>*:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
- <Casos xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:noNamespaceSchemaLocation="C:\XML\SLEC-Casos-de-hipoteses.xsd">
- <Hipoteses>
```

2. Etiqueta inicial *<Hipotese>*, que determina o início de um caso, que por sua vez, tem como *identificador* a *string* que está entre a etiqueta inicial e final do elemento *<IdentificadorHipotese>*:

```
- <Hipotese>
  <IdentificadorHipotese>Caso-Hipotese-1</IdentificadorHipotese>
```

3. Especificação dos índices do caso, ou seja: *Causa e Efeito*:

```
- <Causa>
  - <Axioma>
    - <Objeto1>
      <IdentificadorConceito>Gepeto</IdentificadorConceito>
      <ValorDefinicaoConceito>Gepeto</ValorDefinicaoConceito>
    </Objeto1>
    - <Relacao>
      <IdentificadorConceito>resolveu-fazer-um</IdentificadorConceito>
      <ValorDefinicaoConceito />
    </Relacao>
    - <Objeto2>
      <IdentificadorConceito>Boneco-de-Madeira</IdentificadorConceito>
      <ValorDefinicaoConceito>boneco de madeira</ValorDefinicaoConceito>
    </Objeto2>
  </Axioma>
</Causa>
- <Efeito>
  - <Axioma>
    - <Objeto1>
      <IdentificadorConceito>Gepeto</IdentificadorConceito>
      <ValorDefinicaoConceito>Ele</ValorDefinicaoConceito>
    </Objeto1>
    - <Relacao>
      <IdentificadorConceito>deu-o-nome-de</IdentificadorConceito>
      <ValorDefinicaoConceito>deu o nome de</ValorDefinicaoConceito>
    </Relacao>
    - <Objeto2>
      <IdentificadorConceito>Pinoquio</IdentificadorConceito>
      <ValorDefinicaoConceito>Pinóquio</ValorDefinicaoConceito>
    </Objeto2>
  </Axioma>
</Efeito>
```

4. Especificação de um *Esqueleto de História*:

```
- <EsqueletoHistoria>
  - <ObjetosReferenciados>
    - <ObjetoReferenciado>
      <Referencia>NULL</Referencia>
      <Valor>Era uma vez um velho carpinteiro chamado</Valor>
    </ObjetoReferenciado>
```

```

- <ObjetoReferenciado>
  <Referencia>Gepeto</Referencia>
  <Valor>Gepeto</Valor>
</ObjetoReferenciado>
- <ObjetoReferenciado>
  <Referencia>NULL</Referencia>
  <Valor>. Como morava sozinho resolveu fazer um</Valor>
</ObjetoReferenciado>
- <ObjetoReferenciado>
  <Referencia>Boneco-de-Madeira</Referencia>
  <Valor>boneto de madeira</Valor>
</ObjetoReferenciado>
- <ObjetoReferenciado>
  <Referencia>NULL</Referencia>
  <Valor>. Ao terminar seu trabalho ficou muito feliz e chamou de</Valor>
</ObjetoReferenciado>
- <ObjetoReferenciado>
  <Referencia>Pinoquio</Referencia>
  <Valor>Pinóquio</Valor>
</ObjetoReferenciado>
- <ObjetoReferenciado>
  <Referencia>NULL</Referencia>
  <Valor>.</Valor>
</ObjetoReferenciado>
</ObjetosReferenciados>
</EsqueletoHistoria>

```

5. Etiqueta que determina o fim da representação deste caso, mais outras etiquetas que determinam a possível representação de outros casos.

```

</Hipotese>
- <Hipotese>
  <IdentificadorHipotese>Caso-Hipotese-2</IdentificadorHipotese>
  .
  .
</Hipotese>
.
.
- <Hipotese>
  <IdentificadorHipotese>Caso-Hipotese-N</IdentificadorHipotese>
  .
  .
</Hipotese>

```

6. Fechamento do arquivo com as etiquetas: *<Hipoteses>* e *<Casos>*.

```

</Hipoteses>
</Casos>

```

Paralelamente ao que já foi definido nesta seção, deve-se ainda levar em conta que deve ser realizada uma explicação como forma de proposta para a *recuperação* dos casos de hipóteses em uma fase de formulação de uma *teoria inicial* e, posteriormente, em uma fase de formulação de uma *teoria nova* (ver figura 32). Na próxima seção serão feitas algumas considerações a este respeito.

6.5 A ESTRUTURA DE REPRESENTAÇÃO DA VISÃO CAUSAL E DE QUESTIONAMENTO

Foi estabelecido no capítulo referente à arquitetura SLEC, uma *representação esquemática* para mostrar como é realizado a formulação de uma *teoria* (ver figura 26). Nesta representação esquemática procurou-se explicar a existência de um encadeamento de hipóteses causais com questionamentos associados. Ou seja, com esta representação que foi estabelecida ficou evidente o relacionamento existente entre a *visão causal* e a *visão de questionamento*, como pode ser visualizado na figura 39.



Figura 39: Encadeamento de Hipóteses Causais com Questionamentos Associados

Entende-se que para cada *hipótese* que for formulada existe uma *tripla* (axioma) para representar uma *causa*, e uma *tripla* para representar um *efeito*. Seguindo o mesmo raciocínio para cada questionamento que está associado a uma hipótese, ou seja, existe uma *tripla* para representar uma *questão*, e uma *tripla* para representar uma *resposta*. E que para cada hipótese e, também, para cada questionamento estaria associada uma *história* que mostraria uma *interpretação* de acordo com o contexto para o qual está inserida a referida hipótese, ou o referido questionamento.

Diante de tais fatos, procurou-se estabelecer esta *representação esquemática* mapeada para uma formulação em *XML-Schema* (Figuras 40 e 41) que pudesse satisfazer a tais requerimentos. Este relacionamento tornou-se possível devido à definição de um identificador para cada hipótese na representação da *visão causal* (figura 40 - elemento: *IdentificadorHipotese*). Para tanto, este identificador foi definido também no *XML-Schema* referente à *visão de questionamento* (figura 41), funcionando, por sua vez, como uma chave estrangeira em uma tabela de um banco de dados.

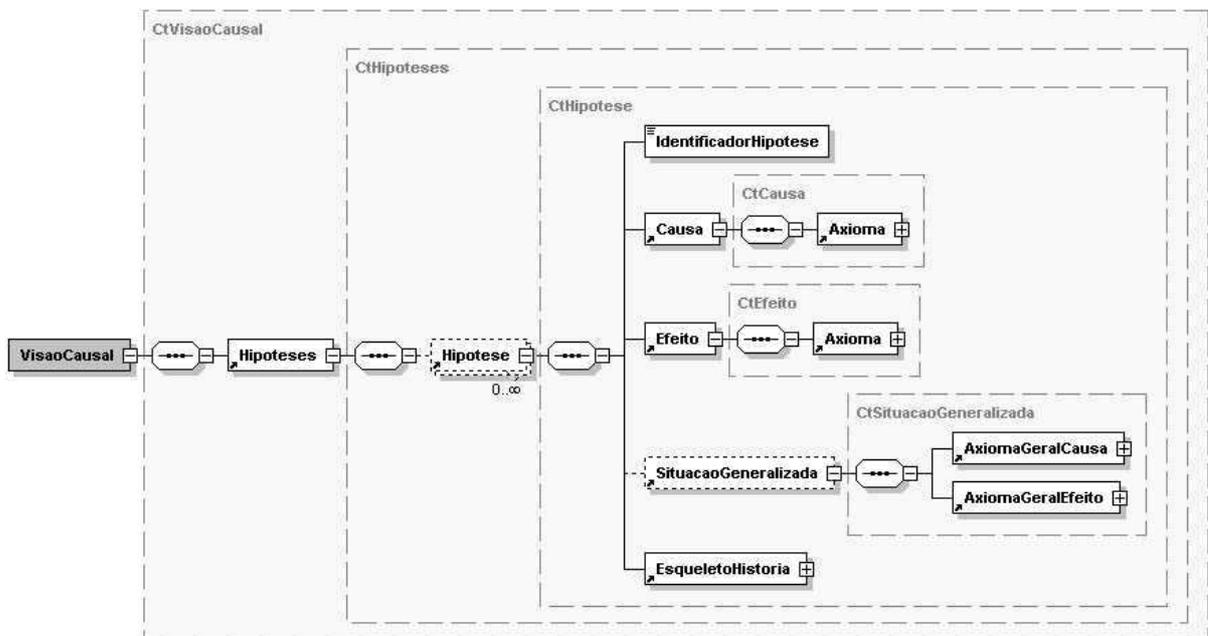


Figura 40: XML-Schema referente à Visão Causal

Como resultado da especificação *XML-Schema* que foi realizada, tem-se que os elementos *Axioma* e *EsqueletoHistoria* que foram especificados na figura 40 e 41, têm a mesma estrutura de representação que foi estabelecida nas figuras 34 e 35, onde foram especificadas as duas bases de casos de hipóteses e de questionamento referentes à seção anterior deste capítulo. Portanto, fica necessário explicar somente o que venha a concretizar a representação *XML-Schema* que foi feita por intermédio do elemento *SituacaoGeneralizada* (figura 40 e 41).

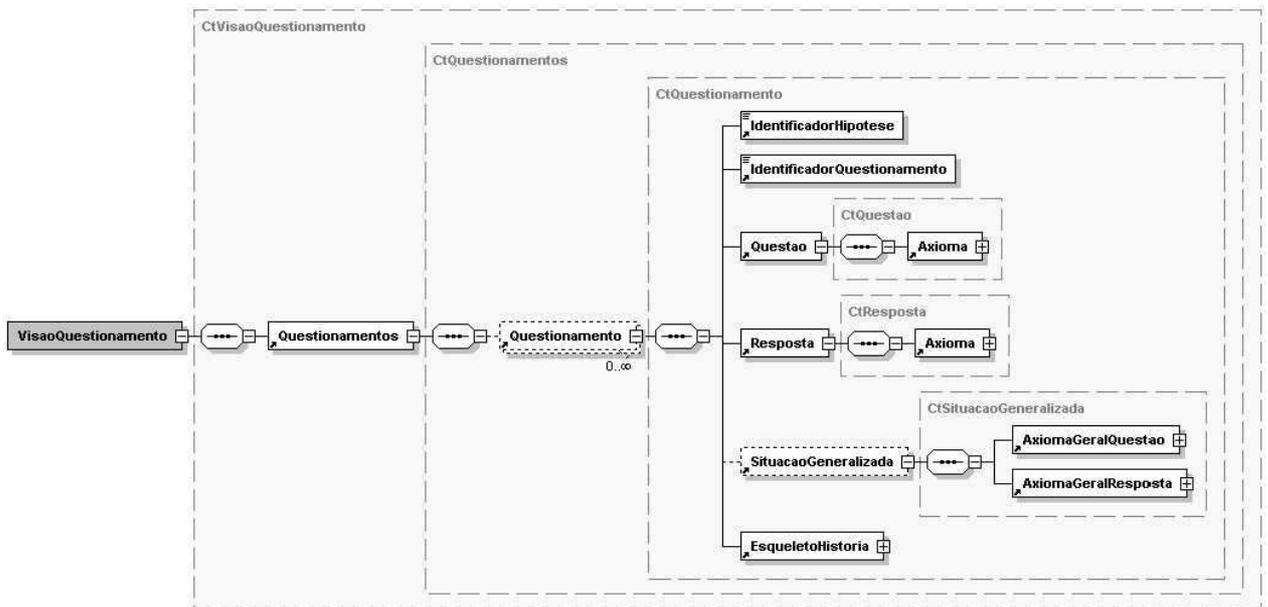


Figura 41: XML-Schema referente à Visão de Questionamento

Entende-se que uma *situação generalizada* deve acontecer quando é reconhecido pela comunidade de professores uma *hipótese causal*⁶ que pode ser *generalizada*. Deve-se considerar que, em se tratando de um *ambiente científico*, esta generalização vem a concretizar a formulação de uma *lei causal*. Mas, em se tratando de uma *ambiente de aprendizagem que utiliza a metáfora de contos infantis*, deve-se tomar o cuidado necessário para não chamar esta generalização de lei, mas sim, de "*situação generalizada*". Pois, nem sempre a generalização pode acontecer, devido ao fato de se tratar de um ambiente hipotético, para que o aprendiz possa entender este mecanismo de generalização que é utilizado em uma formulação de uma *lei causal*.

Por outro lado, entende-se que uma situação generalizada para um *questionamento* é tentar generalizar uma *questão* e uma *resposta* para um contexto ao qual está inserida aquela *hipótese* para o qual está se tentando esclarecer, que pode ter uma resposta diferente dependendo do professor que tente realizar esta interpretação. Sendo assim, pode-se realizar uma *busca para uma adequação estrutural* com relação ao elemento *questão* da *visão de questionamento*, e obter os casos similares com possíveis *respostas* variadas, dependendo da interpretação que foi dada pelo professor responsável para tal explicação.

⁶Composta por dois *axiomas* (um para *causa*, e o outro para o *efeito*).

Portanto, dadas as considerações necessárias a esta forma de generalização, foi definida como segue, a representação *XML-Schema* referente a estas situações generalizadas. Como pode ser visualizado na figura 42, que por sua vez, representa as formas generalizadas para hipóteses (elementos: *AxiomaGeralCausa*, e *AxiomaGeralEfeito*) e questionamentos (elementos: *AxiomaGeralQuestao*, e *AxiomaGeralResposta*). Contudo, o elemento *Referencias* citado nestas generalizações não está descrito nesta representação, mas, este pode ser visualizado como foi representado pela figura 43.

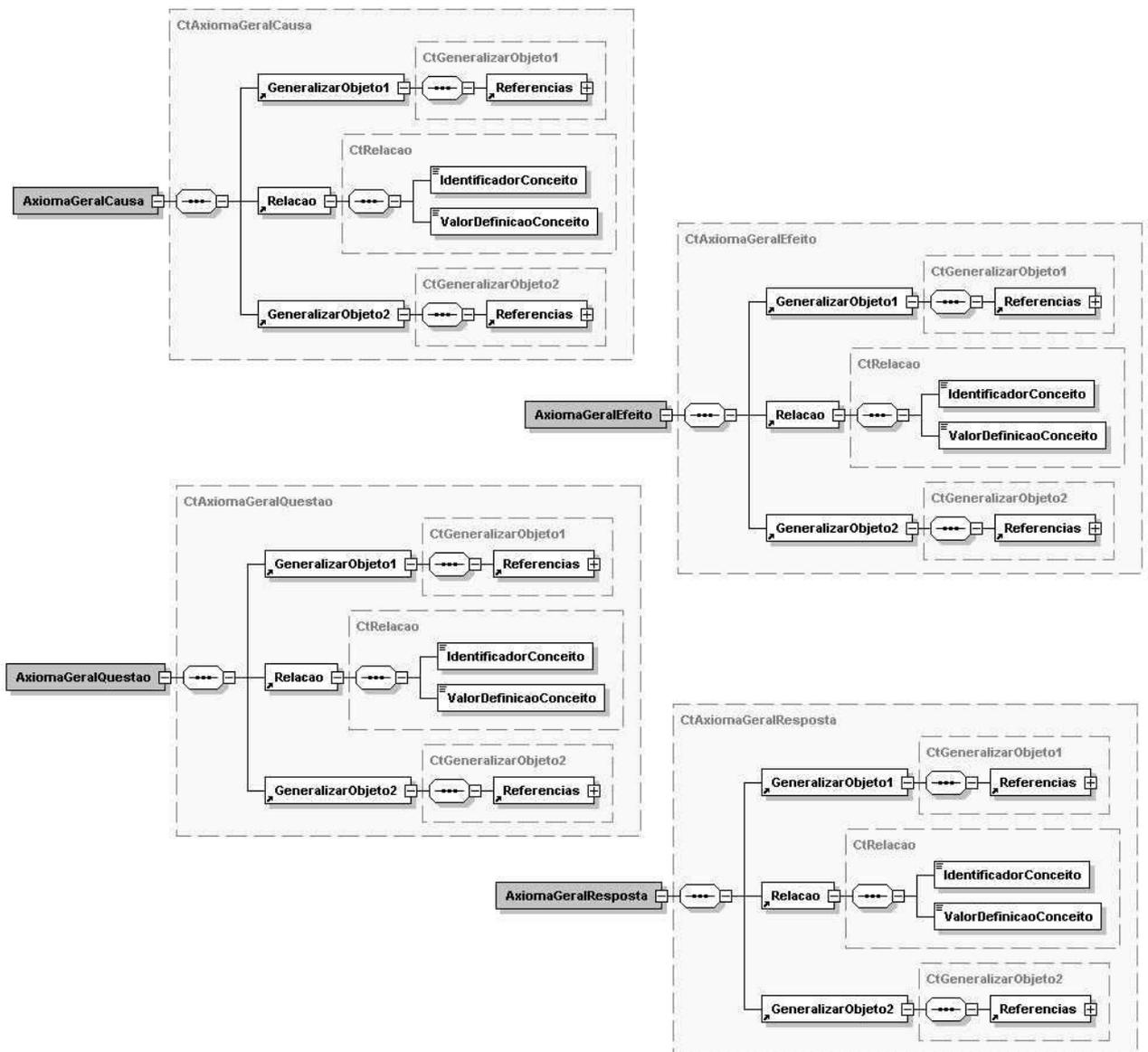


Figura 42: XML-Schema referente aos Elementos que Generalizam Axiomas

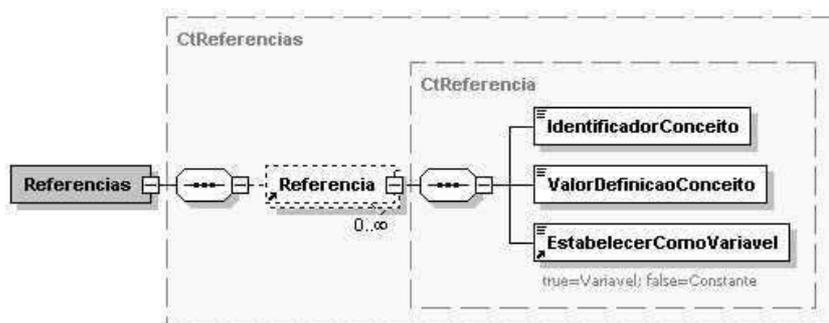


Figura 43: XML-Schema do elemento *Referencias*

Na representação efetuada pela figura 43, foi estabelecido para cada referência (elemento: *Referencia*) um *domínio de atuação*, ou seja, este domínio é estabelecido pelo elemento *IdentificadorConceito*. Assim, este domínio se refere a cada um dos *conceitos*⁷ que foram inseridos para formular uma *causa* e um *efeito* para a hipótese⁸ ao qual esta generalização está se referindo. Por sua vez, reafirmando o que já foi dito, os *conceitos* que forem inseridos para formular os dois *axiomas* (*causa* e *efeito*), são obtidos de uma taxonomia, que através desta pode-se identificar *domínios de atuação* para cada *conceito* que for usado na formação das duas triplas (*causa* e *efeito*).

Desta forma, pode-se formular uma generalização para hipóteses particulares, com conceitos mais gerais, ou seja, *conceitos* mais acima na árvore hierárquica. Por outro lado, identificados os *conceitos* que irão ser utilizados em uma formulação generalizada, deve-se ainda determinar se estes *conceitos* serão estipulados como "constantes" ou "variáveis" (elemento: *EstabelecerComoVariavel*, que pode receber *true* ou *false*) para serem utilizados na formação de uma *situação generalizada*.

Por sua vez, com as representações que foram particionadas em figuras anteriores, resulta o esquema gráfico completo que se refere à visão causal, e de questionamento como pode ser visualizado pelas figuras 44 e 45.

⁷Deve-se lembrar que ficou estabelecido que para formular um *axioma* no formato de uma tripla (*Objeto1*, *Relacao*, *Objeto2*), seriam utilizados *índices* que são obtidos pelos *conceitos* (classes e objetos) que estão inseridos na visão hierárquica (ver seção 6.4). Desta forma, podem-se ter vários índices tanto para *Objeto1*, como para *Objeto2*.

⁸Ou então, para formular uma *questão* e uma *resposta* para um questionamento.

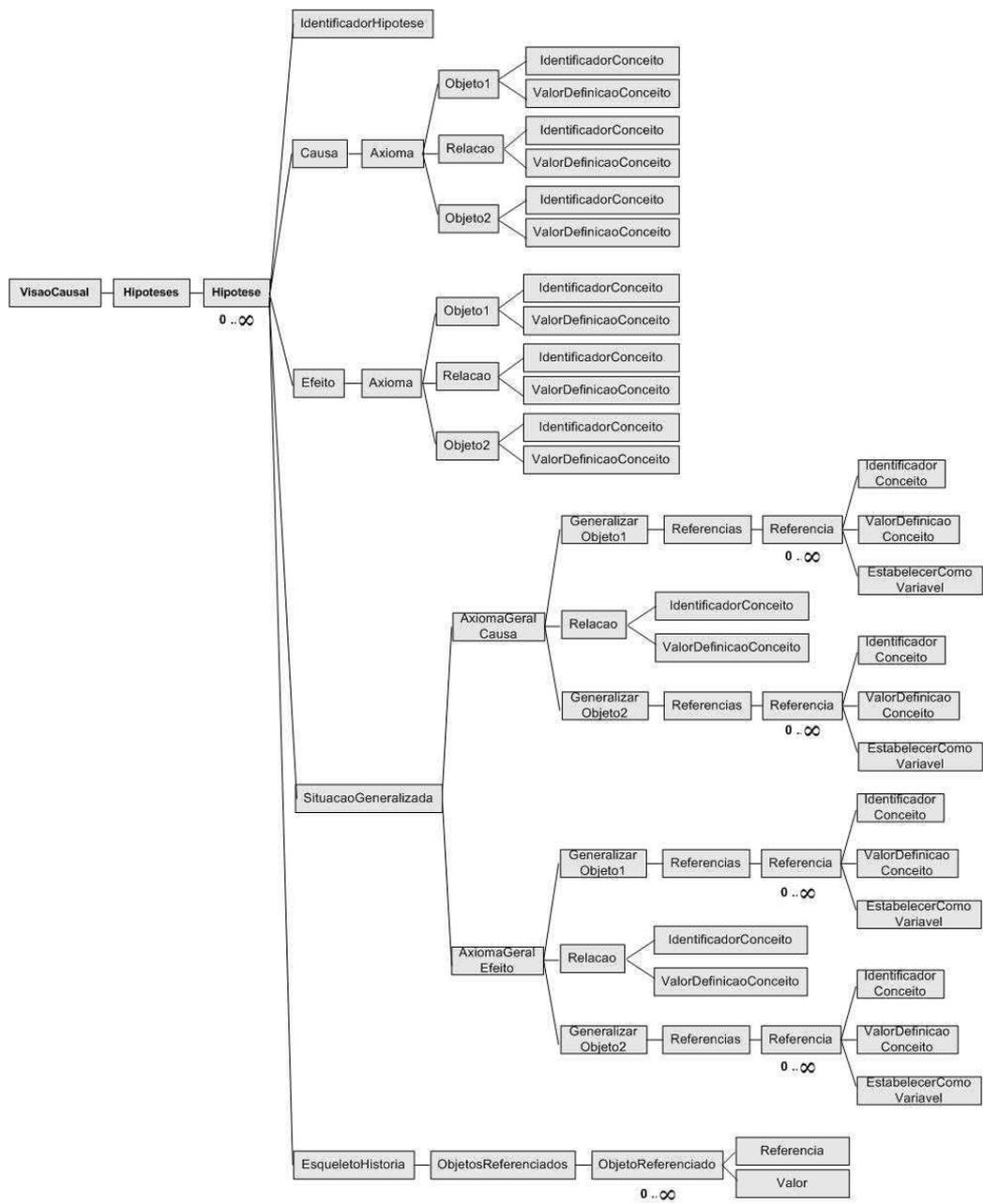


Figura 44: Representação Gráfica referente a Visão Causal

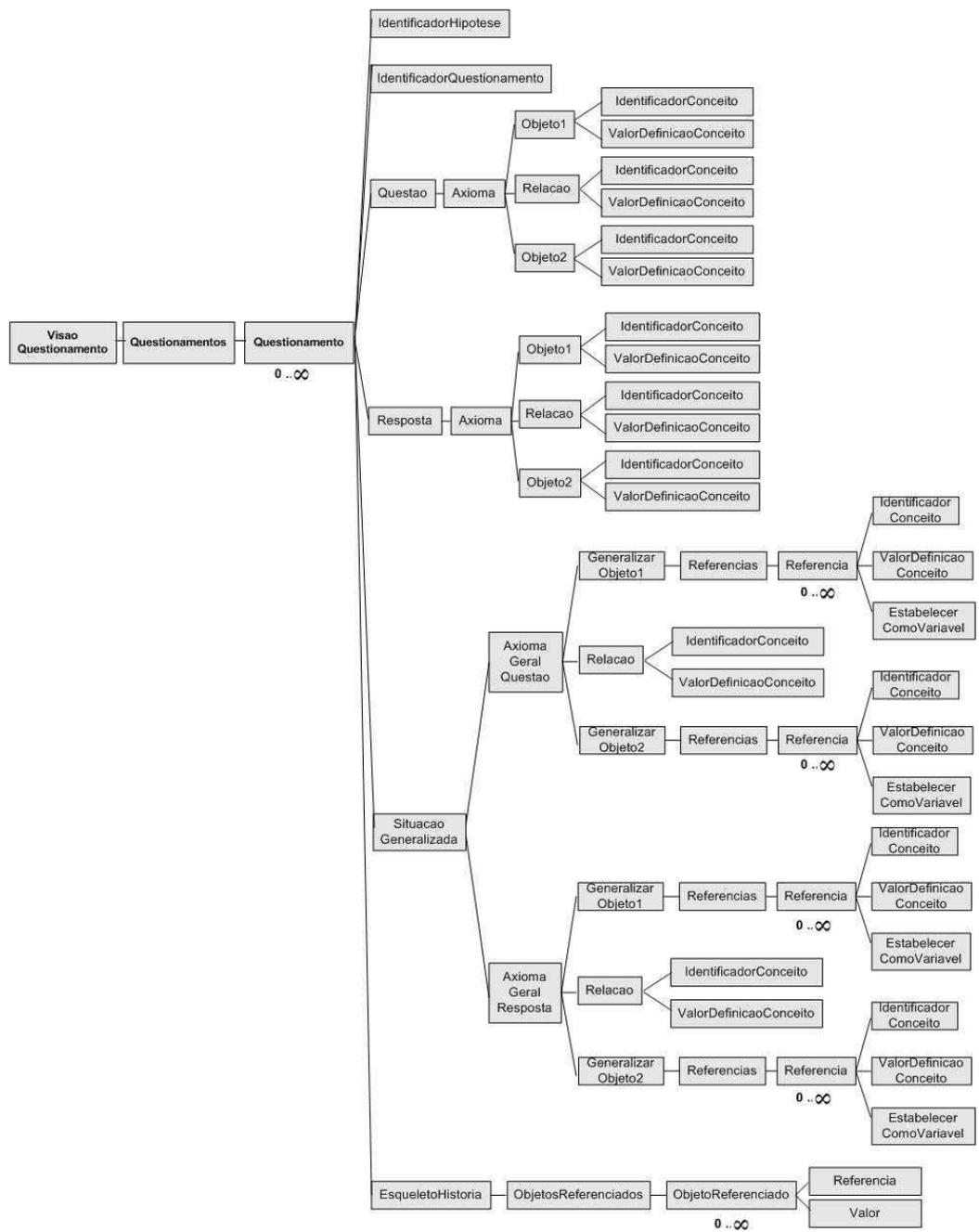


Figura 45: Representação Gráfica referente a Visão de Questionamento

No *XML-Schema* que representa a *visão causal* (figura 44)⁹ pode-se observar como os *elementos* foram definidos:

- **VisaoCausal:** elemento raiz que foi estabelecido para o arquivo XML da visão causal;
- **Hipotese:** elemento utilizado para representar as hipóteses que forem formuladas;
- **Hipoteses:** elemento que contém um tipo complexo, que é representado pelos elementos: *IdentificadorHipoteses*, *Causa*, *Efeito*, *SituacaoGeneralizada*, *EsqueletoHistoria*;
- **IdentificadorHipoteses:** elemento que é utilizado no XML correspondente a este *XML-Schema* para identificar cada hipótese que for formulada; por exemplo, em um encadeamento de hipóteses tem-se os seguintes identificadores: "Hipoteses-01", "Hipoteses-02", ..., "Hipoteses-N";
- **Causa e Efeito:** elementos que são responsáveis por representar uma estrutura de formulação de hipótese através da utilização dos *axiomas* que são formulados na *visão relacional*;
- **SituacaoGeneralizada:** elemento que representa uma estrutura que é responsável por generalizar as hipóteses que estão sendo representadas pela estrutura que foi explicada no ítem anterior (*Causa e Efeito*). Assim, esta estrutura servirá para que seja possível verificar os casos que devem se adequar estruturalmente a esta situação, obtendo assim a similaridade do caso que está sendo verificado com relação à *situação generalizada* que está sendo representada, que na verdade é um mecanismo que foi formulado que torna possível buscar os casos que se encaixam a uma dada situação generalizada. Ou seja, *Objeto1* e *Objeto2* do caso tem que pertencer ao *domínio* desta situação¹⁰. Por outro lado, *Relacao* deve ser constante, ou seja, invariável, e deve ser igual a dos casos que forem recuperados.
- **EsqueletoHistoria:** elemento que estrutura um *trecho de história* para um *contexto de interpretação* que foi escolhido, através da recuperação de casos, que é feita através da base de casos de hipóteses;

⁹Que é semelhante na estrutura ao *XML-Schema* da Visão de Questionamento (figura 45).

¹⁰Observa-se que na representação do elemento *SituacaoGeneralizada*, tem-se que *Objeto1* e *Objeto2* pode-se utilizar várias *referências* a *conceitos* (classes e objetos) que foram definidos na visão hierárquica, e que estes por sua vez, podem ser definidos como sendo *constante* ou *variável* em uma situação generalizada, pela adição do elemento *EstabelecerComVariavel* (que pode receber *true* ou *false*).

Considere o seguinte exemplo, suponha que se deseja formular uma teoria inicial composta por duas hipóteses. Como representado abaixo:

1. *Primeira hipótese:*

- *Causa:* Gepeto | resolveu-fazer-um | Boneco- de-Madeira
- *Efeito:* Ele | deu-o-nome-de | Pinoquio

2. *Segunda hipótese:*

- *Causa:* Pinoquio | ganhou | vida
- *Efeito:* Gepeto | enviou | Pinoquio para escola

Pode-se verificar como especificado a seguir que é possível representar estas hipóteses em uma especificação XML. Contudo, neste arquivo XML só foi representado a primeira hipótese deste exemplo, analogamente a segunda segue a mesma representação XML, como indicado pelas reticências:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
- <VisaoCausal xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:noNamespaceSchemaLocation="C:\XML\SLEC-VisaoCausal.xsd">
- <Hipoteses>
- <Hipotese>
  <IdentificadorHipotese>Hipotese-01</IdentificadorHipotese>
- <Causa>
- <Axioma>
- <Objeto1>
  <IdentificadorConceito>Gepeto</IdentificadorConceito>
  <ValorDefinicaoConceito>Gepeto</ValorDefinicaoConceito>
</Objeto1>
- <Relacao>
  <IdentificadorConceito>resolveu-fazer-um</IdentificadorConceito>
  <ValorDefinicaoConceito>resolveu fazer um</ValorDefinicaoConceito>
</Relacao>
- <Objeto2>
  <IdentificadorConceito>Boneco-de-Madeira</IdentificadorConceito>
  <ValorDefinicaoConceito>boneco de madeira</ValorDefinicaoConceito>
</Objeto2>
</Axioma>
</Causa>
- <Efeito>
- <Axioma>
- <Objeto1>
  <IdentificadorConceito>Gepeto</IdentificadorConceito>
  <ValorDefinicaoConceito>Ele</ValorDefinicaoConceito>
</Objeto1>
- <Relacao>
  <IdentificadorConceito>deu-o-nome-de</IdentificadorConceito>
  <ValorDefinicaoConceito>deu o nome de</ValorDefinicaoConceito>
</Relacao>
- <Objeto2>
  <IdentificadorConceito>Pinoquio</IdentificadorConceito>
  <ValorDefinicaoConceito>Pinóquio</ValorDefinicaoConceito>
</Objeto2>
</Axioma>
</Efeito>
```

```

- <SituacaoGeneralizada>
- <AxiomaGeralCausa>
- <GeneralizarObjeto1>
- <Referencias>
- <Referencia>
  <IdentificadorConceito>Homem</IdentificadorConceito>
  <ValorDefinicaoConceito>Homem</ValorDefinicaoConceito>
  <EstabelecerComoVariavel>>true</EstabelecerComoVariavel>
</Referencia>
</Referencias>
</GeneralizarObjeto1>
- <Relacao>
  <IdentificadorConceito>resolveu-fazer-um</IdentificadorConceito>
  <ValorDefinicaoConceito>resolveu fazer um</ValorDefinicaoConceito>
</Relacao>
- <GeneralizarObjeto2>
- <Referencias>
- <Referencia>
  <IdentificadorConceito>Boneco-de-Madeira</IdentificadorConceito>
  <ValorDefinicaoConceito>boneco de madeira</ValorDefinicaoConceito>
  <EstabelecerComoVariavel>>false</EstabelecerComoVariavel>
</Referencia>
</Referencias>
</GeneralizarObjeto2>
</AxiomaGeralCausa>
- <AxiomaGeralEfeito>
- <GeneralizarObjeto1>
- <Referencias>
- <Referencia>
  <IdentificadorConceito>Homem</IdentificadorConceito>
  <ValorDefinicaoConceito>Homem</ValorDefinicaoConceito>
  <EstabelecerComoVariavel>>true</EstabelecerComoVariavel>
</Referencia>
</Referencias>
</GeneralizarObjeto1>
- <Relacao>
  <IdentificadorConceito>deu-o-nome-de</IdentificadorConceito>
  <ValorDefinicaoConceito>deu o nome de</ValorDefinicaoConceito>
</Relacao>
- <GeneralizarObjeto2>
- <Referencias>
- <Referencia>
  <IdentificadorConceito>Boneco-de-Madeira</IdentificadorConceito>
  <ValorDefinicaoConceito>boneco de madeira</ValorDefinicaoConceito>
  <EstabelecerComoVariavel>>true</EstabelecerComoVariavel>
</Referencia>
</Referencias>
</GeneralizarObjeto2>
</AxiomaGeralEfeito>
</SituacaoGeneralizada>
- <EsqueletoHistoria>
  .
  .
  .
</EsqueletoHistoria>
</Hipotese>
- <Hipotese>
  .
  .
  .
</Hipotese>
</Hipoteses>
</VisaoCausal>

```

O que pode ser observado pela representação XML que foi apresentada é que para a *primeira hipótese* foi introduzido uma *situação generalizada* para a *causa* e também para o *efeito*. Por sua vez, nesta situação que foi estabelecida tem-se que:

1. Para a **Causa** (*Gepeto* | *resolveu-fazer-um* | *Boneco-de-Madeira*) foi estabelecido uma generalização. Onde, entende-se que **Objeto1** do caso que deverá ser *recuperado* para criar uma interpretação na forma de história deve pertencer ao domínio que foi estabelecido como generalizado para ele. Portanto, como foi estabelecido **Objeto1** deve pertencer ao domínio "Homem", e que este é "variável", ou seja, pode-se recuperar qualquer objeto que esteja abaixo da hierarquia estabelecida por "Homem". Por outro lado, foi especificado para **Objeto2** que este deve ser "constante", ou seja, invariável, e deve ser igual a "Boneco-de-Madeira". A mesma interpretação dar-se para

Relacao desta tripla, ou seja, os casos que forem recuperados devem ter mesma relação que foi estipulada, ou seja, "*resolveu-fazer-um*".

2. Para o **Efeito** (*Gepeto*¹¹ | *enviou*¹² | *Pinoquio*¹³ *para*¹⁴ *escola*¹⁵) dá-se uma interpretação de forma similar ao que foi estabelecida no item anterior.
3. Observa-se que não foi colocado nada no esqueleto em formato de história (elemento *EsqueletoHistoria*), pois esta história deve ser recuperada da base casos de hipóteses, e o esqueleto que será armazenado neste arquivo segue o mesmo formato do esqueleto desta base de casos, que já foi explicado anteriormente.

Porém, esta forma de recuperação que é realizada por esta busca traz todos os casos que se encaixem com este domínio que foi estabelecido. Então, pode-se fazer a seguinte pergunta: Mas, por que o sistema obtém todos os casos? Esta resposta é devido ao fato de que em se tratando de formular uma *teoria científica*, onde tem-se uma *situação generalizada (lei causal)*, a comunidade de professores não pode descartar nenhuma situação particular (já que todas devem ser válidas para a lei em questão), pois fazendo assim estará negando interpretações, que em um dado contexto possam ser bastante relevantes e possam esclarecer melhor a teoria que está sendo formulada. Portanto, a comunidade de cientistas (professores) não pode descartar nenhum caso. Devendo, então, todos os casos serem estudados para se chegar a um consenso de qual é a melhor interpretação (em forma de história) que pode ser realizada.

Portanto, concluindo este capítulo segue no anexo B a especificação *XML-Schema* referente a este estudo que foi realizado. Neste anexo, tem-se a especificação referente as quatro visões do modelo, mais as especificação das duas bases de casos que foram propostas.

6.6 CONCLUSÃO

Observa-se que a tecnologia chave que concretizou a formalização do *modelo de aprendizagem por descoberta* (modelo híbrido) proposto para a arquitetura SLEC (capítulo 5) foi *XML* e *XML-Schema*. Esta tecnologia mostrou-se bastante adequada para solucionar a *indexação* dos casos de hipóteses e, também, para a *recuperação* dos casos através das *situações generalizadas* que são associadas na formulada de uma *teoria inicial* de algum domínio do conhecimento.

¹¹Foi estipulado o domínio *Homem* e este é *variável*.

¹²*Relação* é invariável, ou seja, *constante*.

¹³Foi estipulado o domínio *Boneco-de-Madeira* e este é *variável*.

¹⁴Foi estipulado que *Para* é *constante*.

¹⁵Foi estipulado o domínio *Instituicao-de-Ensino* e este é *variável*.

Com relação a cada visão de conhecimento (hierárquica, relacional, causal, e de questionamento) e bases de casos (hipóteses e questionamentos) que foram formalizadas, obteve-se uma forma bastante eficiente de associação desta formalização com a própria implementação do programa, pelo fato de que, através de uma compilação que pode ser executada em cada arquivo *XML-Schema* por intermédio da tecnologia *JAXB*, pode-se obter *APIs* personalizadas que podem ser integradas a tecnologias existentes para a implementação de programas através da linguagem java e, assim, maximizar o tempo para a finalização de um programa. Com isso a possibilidade de implementação de características de associações semânticas que são exigidas em representação de conhecimento tornou-se possível e bastante eficiente pelas características disponíveis pela especificação que foi possível realizar com *XML* e *XML-Schema*.

Resta-nos, portanto, mostrar finalmente o *desenvolvimento do ambiente de descoberta* que é o objetivo fundamental para a utilização deste *modelo de aprendizagem por descoberta* que foi formalizado. Este desenvolvimento será apresentado no próximo capítulo, pelo delineamento da forma pelo qual torna-se possível a formulação de *teorias iniciais* e *teorias novas* por parte da comunidade de professores e aprendizes em ciência respectivamente. Sendo assim, após esta explicação geral que será mostrada no próximo capítulo serão feitas as considerações finais para este trabalho no capítulo seguinte, finalizando, desta forma, o objetivo de apresentar um ambiente de aprendizagem por descoberta no contexto de formalização de teorias científicas por intermédio da metáfora de contos infantis.

7 DESENVOLVIMENTO DO AMBIENTE DE DESCOBERTA PROPOSTO

Neste capítulo foi estabelecido mostrar o desenvolvimento para a realização das duas aplicações que foram destinadas a arquitetura SLEC, como também a forma de integração que deve existir entre estas duas aplicações com o *modelo de aprendizagem por descoberta* que foi formalizado no capítulo 6.

7.1 INTRODUÇÃO

Na arquitetura SLEC (capítulo 5), foram propostas duas aplicações: uma para o professor e a outra para o aluno. Estas duas aplicações seriam integradas por intermédio de uma formalização de um *modelo científico* que pudesse proporcionar ao aprendiz em ciência o entendimento de como os conceitos em uma teoria científica estão relacionados.

Com este desafio de concepção, apresenta-se, a seguir, a idéia que resulta da formalização do modelo científico que foi apresentado no capítulo anterior. Portanto, pretende-se, em linhas gerais, mostrar como realmente este processo acontece.

Primeiro será explicado o processo que envolve a aplicação do professor para elaborar uma *teoria inicial*. Assim, explicado este processo torna-se possível explicar como uma *teoria nova* pode ser formulada para a segunda aplicação que foi proposta pela arquitetura SLEC, ou seja, a aplicação do aluno, que visa ser um ambiente de descoberta para a aprendizagem de conceitos relacionados a teorias científicas com o uso da metáfora de contos infantis.

Após ser explicado todo este processo estaremos aptos a realizar um exemplo para mostrar como é elaborado uma *teoria inicial* com a história de Pinóquio e, posteriormente, como esta *teoria inicial* pode ser utilizada para que o aprendiz possa elaborar uma *teoria nova*.

7.2 COMO ELABORAR UMA TEORIA INICIAL UTILIZANDO O MODELO QUE FOI ADOTADO?

Para elaborar uma *teoria inicial* deve-se utilizar a aplicação que foi destinada ao professor, sendo necessário seguir os seguintes passos:

1. A Comunidade de Professores elabora os *Axiomas* de uma *Teoria Inicial* de Forma *Consensual e Colaborativa*, através da visão hierárquica e da visão relacional:

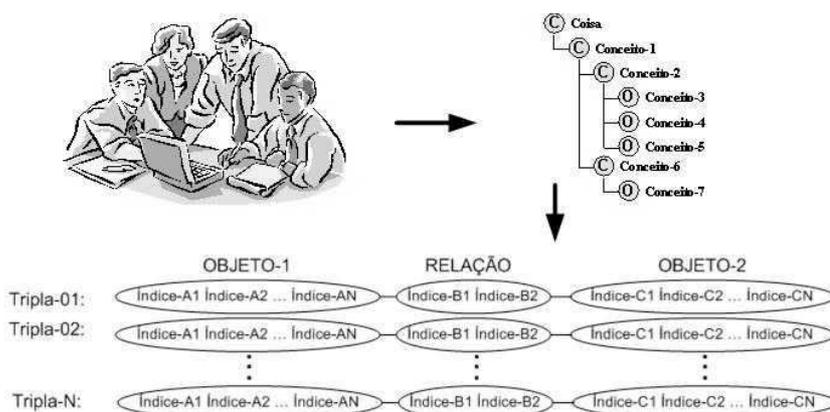


Figura 46: Formulando uma Teoria Inicial - Passo 1

2. A Comunidade utiliza os *Axiomas* para elaborar as *Hipóteses* de uma *Teoria Inicial* em um Encadeamento Causal de Hipóteses:

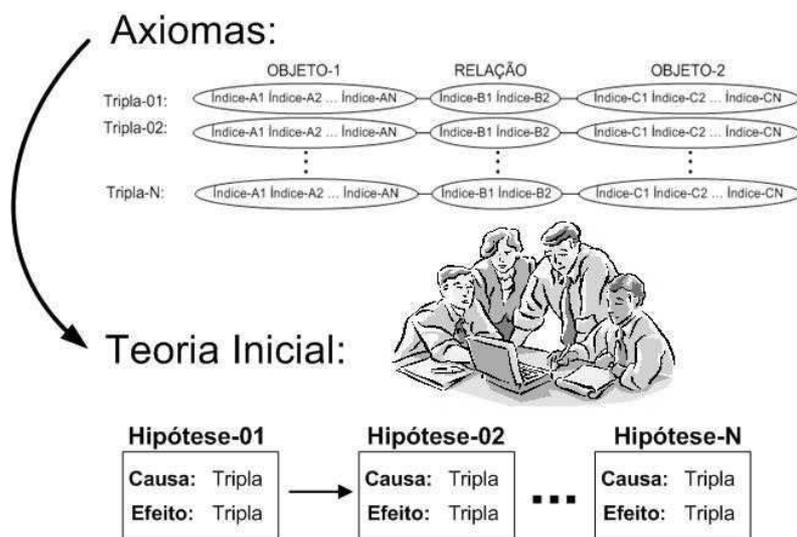


Figura 47: Formulando uma Teoria Inicial - Passo 2

3. A Comunidade *generaliza* cada *hipótese* para atender a situações mais gerais¹:

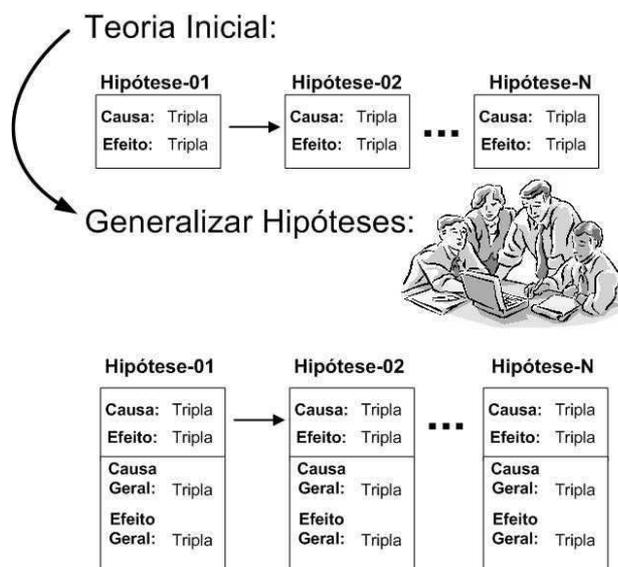


Figura 48: Formulando uma Teoria Inicial - Passo 3

4. O professor responsável pela coordenação dos trabalhos, solicita que sejam elaborados grupos de professores para criar casos de hipóteses que são instâncias para a *teoria inicial* que foi generalizada e submeta-as para serem inseridas em uma base de casos de hipóteses. Esses casos que serão representados carregam uma interpretação contextual na forma de uma *história*. Assim, a comunidade pode avaliar as sugestões para os casos que devem ser criados, para então inserir na base de casos de hipóteses aqueles casos que mostram uma *interpretação* viável para a teoria inicial:

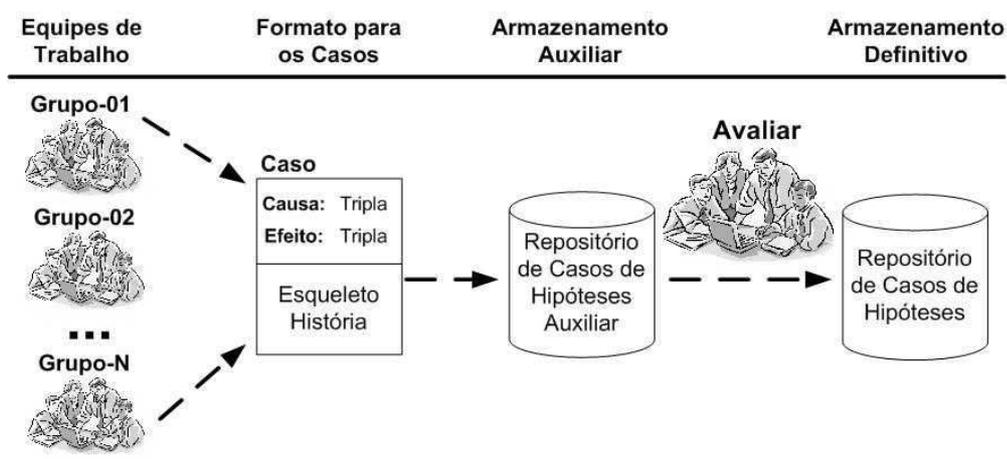


Figura 49: Formulando uma Teoria Inicial - Passo 4

¹Paralelamente entende-se que o que está se fazendo é a generalização em forma de lei causal. Porém, para a aplicação do aluno, que é um ambiente de aprendizagem através da metáfora de contos é melhor usar em vez de *lei causal* a denominação de *situação generalizada*. Já que este é um ambiente fictício, onde a denominação de lei não é bem apropriada.

5. Após a inserção dos casos de hipóteses, o professor coordenador solicita aos participantes da comunidade que gerem questionamentos para as *interpretações* em formato de *história* que foram criadas para os casos de hipóteses. E que as *questões* geradas sejam avaliadas e *interpretadas* pelos membros da comunidade para serem gerados os casos de questionamentos, que devem ser avaliados e inseridos na base de casos de questionamentos:

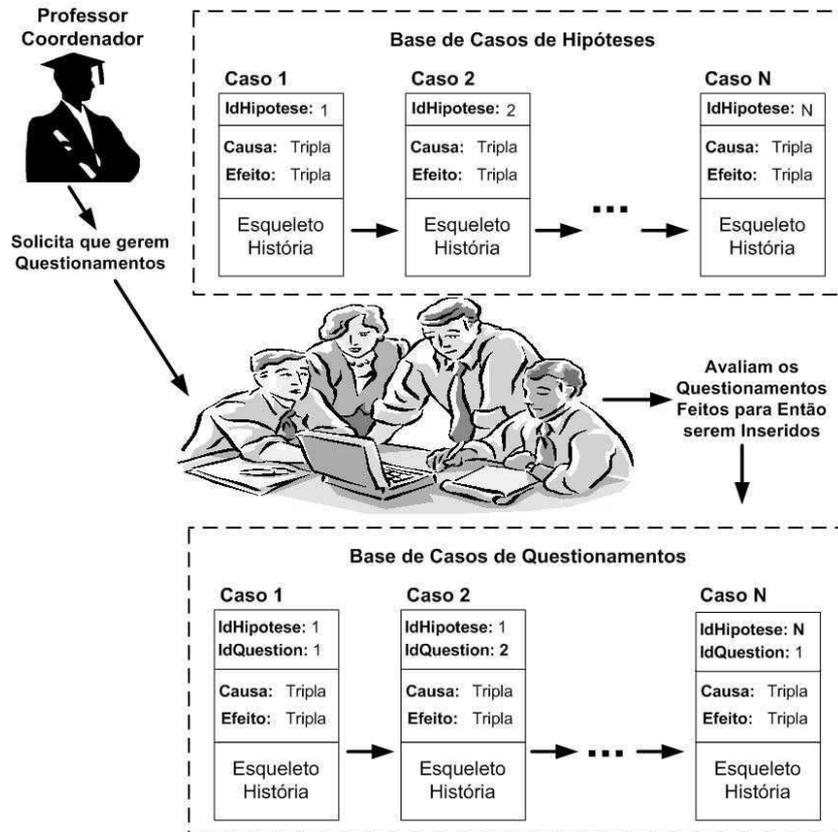


Figura 50: Formulando uma Teoria Inicial - Passo 5

6. Para finalizar este processo, basta agora inserir na *teoria inicial* uma *interpretação* em formato de uma *história* para cada hipótese que foi criada no ítem 2. Assim, para esta realização é necessário que o sistema possibilite a *recuperação* dos casos de hipóteses de acordo com a *adequação estrutural* dos casos obtidos em relação as *situações generalizadas* que foram definidas:

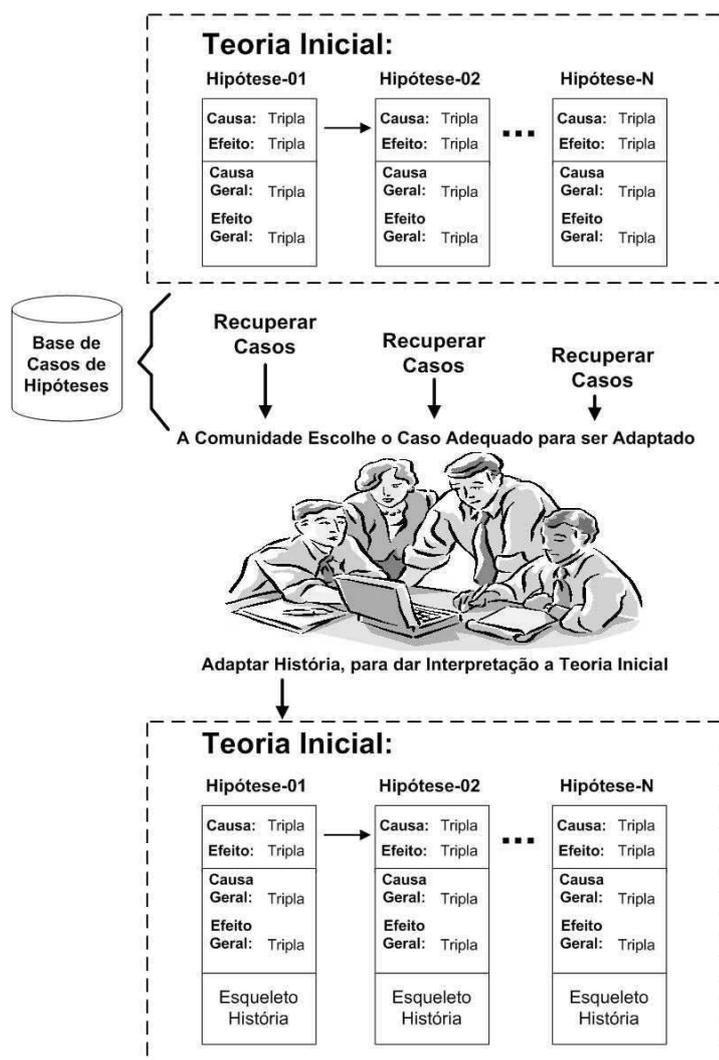


Figura 51: Formulando uma Teoria Inicial - Passo 6

Portanto, realizado estes passos definidos acima, pode-se dizer que inicialmente no item 2 (desta descrição) foi criada uma *instância* que se aplica à *situação generalizada* (item 3) que foi criada para a *teoria inicial*. Mas, esta instância que foi criada deve ainda carregar uma *interpretação* na forma de *história* para que possa ser utilizada pelo aprendiz na formulação de uma *teoria nova*. Assim, entende-se que esta *teoria nova* que será formulada pelo aprendiz será também uma *instância* que se aplica à *generalização* da *teoria inicial*. Mas, no entanto, esta instância que será criada pelo aluno terá novos *axiomas* que deverão passar pelo crivo de hipóteses generalizadas (leis causais) através do mecanismo que foi criado pela obtenção de conhecimento generalizado com o uso da *visão hierárquica*. E, desta forma, quando o aprendiz formular uma *hipótese válida* serão exibidos para ele casos de hipóteses que podem ser adaptados para esta nova situação. Estes casos são obtidos através da *adequação estrutural* que pode ser realizada pelas *situações generalizadas* (*hipóteses generalizadas*) que foram criadas pela comunidade de professores.

7.3 COMO ELABORAR UMA TEORIA NOVA A PARTIR DE UMA TEORIA INICIAL?

O princípio em que se baseia a aplicação do aluno (arquitetura SLEC) é de que esta destina-se a aprendizes que desejam entender como estão relacionados os conceitos em uma *teoria científica*. Para isso, foi proposto um *ambiente de descoberta* (PARAGUAÇU, 1997) que através da *metáfora de contos infantis* possibilitaria esta realização.

Portanto, a solução (figura 21 referente ao capítulo 5) que foi apresentada neste trabalho foi a de que este ambiente deveria tornar disponível, para o aluno, *modelos científicos* de *teorias iniciais* que foram elaboradas por uma comunidade de professores em um formato XML. E, que por sua vez, com a disponibilidade de tais *modelos*, o ambiente de descoberta deveria proporcionar ao aprendiz a possibilidade de escolher um destes para realizar os seus testes e, com isso, o aprendiz poderia formular uma *teoria nova* a partir do *modelo* que foi escolhido. Desta forma, diante de tais fatos, este ambiente deverá proporcionar a seguinte *rotina* para tornar esta realidade possível:

1. Inicialmente, quando o aluno escolher uma *teoria inicial* (modelo), o ambiente deverá explicar para o aluno que o que será apresentado para ele é uma *história* que será exibida em várias cenas, onde cada cena representa uma *hipótese*, e explicar para ele que uma hipótese é uma suposição feita por um cientista (professor), que elabora esta suposição em uma forma que se tenha uma *causa* para ela ocorrer, e que desta *causa* ocorre um *efeito*;

Assim, para cada hipótese que o cientista formula, ele elabora uma generalização para aquela hipótese. Cada generalização é feita após se realizar vários testes e identificar que esta hipótese pode atender a outras situações que são semelhantes a esta. Então, o sistema deve apresentar para o aprendiz uma imagem que represente como as cenas (hipóteses) serão apresentadas para ele (figura 52), e também como serão representadas pelo ambiente cada cena individualmente (figura 53)²;

²Observa-se que nesta figura, cada *conceito* que estiver representado pela *causa* ou pelo *efeito* pode-se ter uma *foto* associada, esta afirmação é verdadeira para o caso de ser especificado alguma *foto* para o *conceito* na *visão hierárquica*.

Teoria:

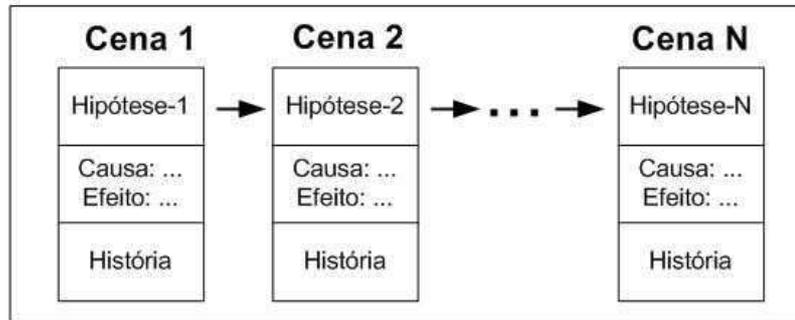


Figura 52: As Cenas de uma História que Representam as Hipóteses de uma Teoria

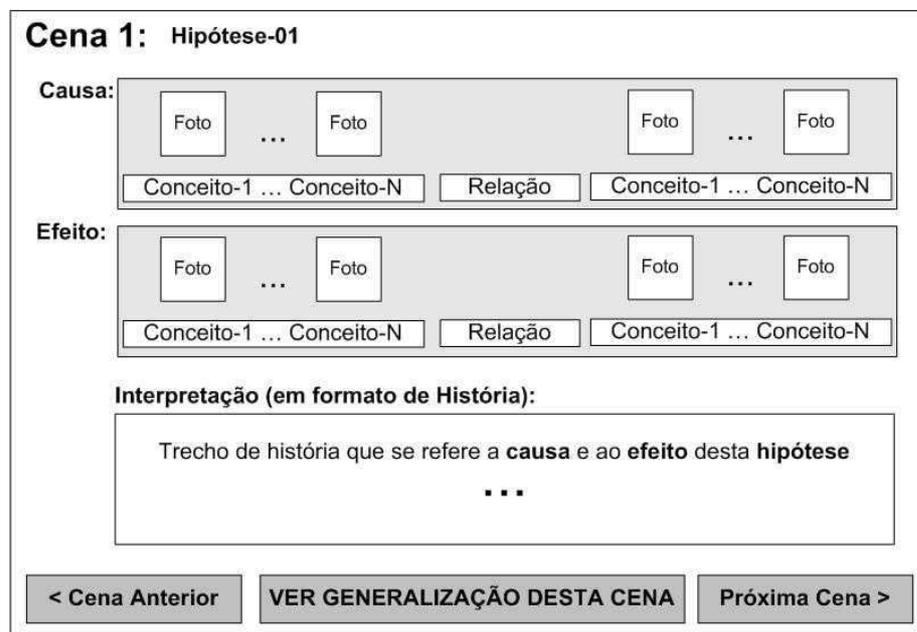


Figura 53: O Formato Individual de cada Cena (Hipótese)

Portanto, para um melhor entendimento do aluno o sistema deverá apresentar um exemplo (em vídeo) para atender esta fase inicial de explicação. Por sua vez, após a exibição do exemplo, o sistema deve explicar também que para o aluno entender a história completa ele precisa percorrer cada cena. E que após percorrer todas as cenas, o aluno terá a idéia geral de uma representação de uma *teoria* que foi formulada pelo professor;

2. A partir deste ponto, o ambiente deverá mostrar para o aluno que para formular uma cena (hipótese), deve-se primeiro criar uma *causa* e um *efeito*. Que por sua vez, podem ser formuladas a partir de uma *hierarquia de conceitos*. E afirmar que para cada *causa* e para cada *efeito* que estiver representado nas hipóteses de uma teoria, deve existir uma relação direta com a formulação de *axiomas*. Entende-se que um *axioma* é uma afirmação que é considerada uma verdade, e que os axiomas de uma teoria podem ser elaborados a partir de *conceitos* que estão organizados (categorizados) hierarquicamente.

Assim, estes *axiomas* que forem criados podem ser utilizados para compor hipóteses, que na verdade são *teoremas*, ou seja, verdades criadas a partir dos *axiomas*. E que por sua vez, uma *teoria* que resulta de um *encadeamento causal de hipóteses* também é um teorema (figura 54), e isto se deve ao fato de que esta *teoria* foi formulada a partir dos *axiomas* de cada hipótese individual. Desta forma, apresentar-se-á um vídeo para mostrar o objetivo por trás de cada definição que foi feita;

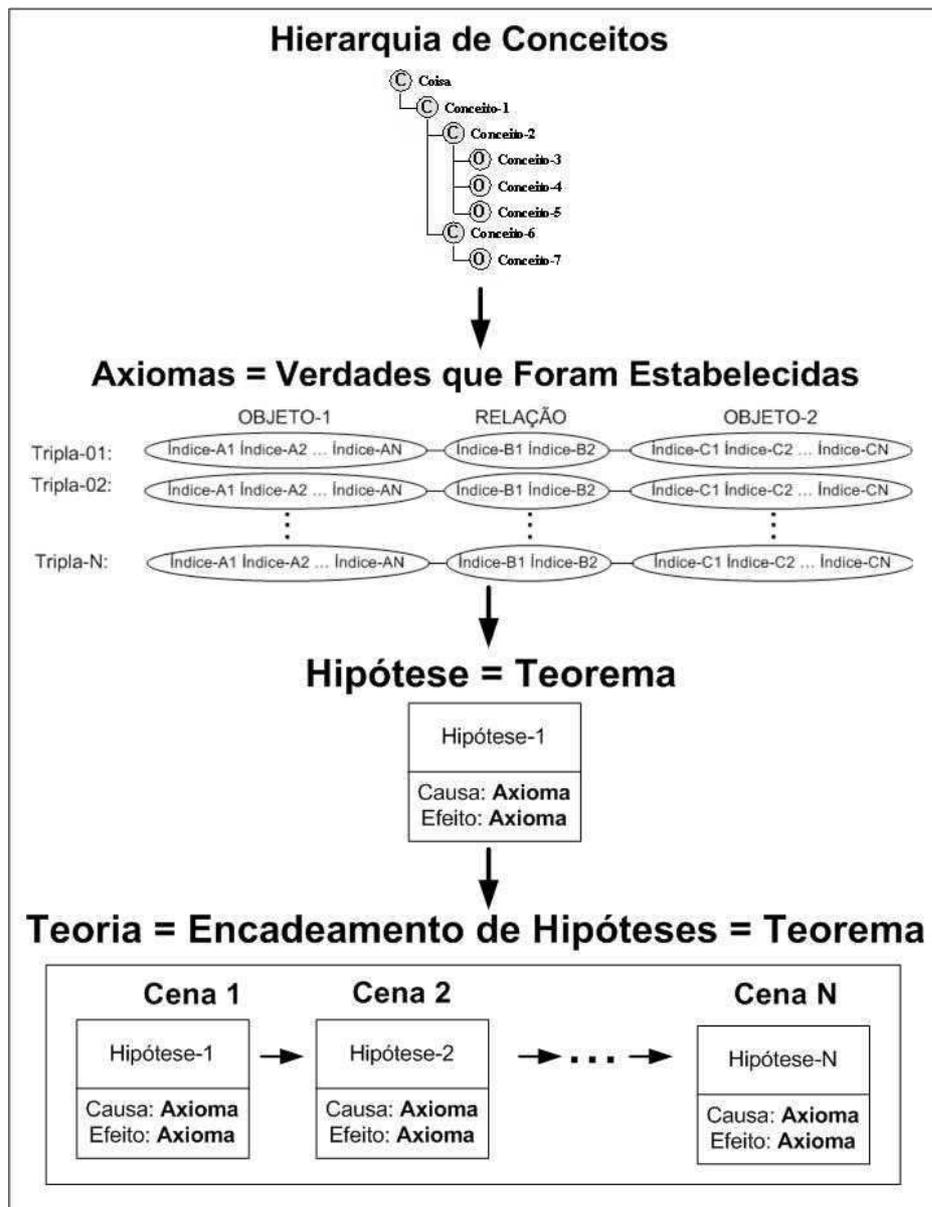


Figura 54: Esquema de Representação Definindo *Axiomas* e *Teoremas*

3. Concluída esta fase inicial de explicação por parte do sistema, deve-se solicitar ao aprendiz que ele percorra a *teoria inicial* (figura 53), clicando no botão "*próxima cena*" até percorrer todas as cenas que representam esta teoria, e ao passar por cada cena ele deve verificar a generalização correspondente que foi feita para cada uma das hipóteses que foram feitas;
4. Feito isso, o sistema deve informar para o aluno que é possível realizar uma *simulação* para testar a *teoria inicial*. Ou seja, que o aprendiz poderá criar uma nova instância para a teoria inicial, que respeite as *generalizações* que foram estabelecidas para as hipóteses desta teoria. Com isso, o aprendiz poderá criar novos axiomas para estas hipóteses. Mas estes, por sua vez, devem ser *situações particulares* para as *situações generalizadas* que foram estabelecidas na *teoria inicial*.

Por outro lado, o sistema ainda deve esclarecer que além da simulação que o aluno pode realizar, ainda é possível obter, a partir de uma base de casos de hipóteses, uma interpretação na forma de história para cada hipótese que está sendo formulada, e com a recuperação que for realizada pode-se escolher uma história para ser adaptada para cada hipótese em questão. Desta forma, com esta nova interpretação, pode-se explicar para o aluno que esta *reformulação* da *teoria inicial* contextualizou uma nova situação na forma de história. Sendo assim, o sistema refere-se a esta nova instância da teoria inicial que foi gerada como sendo uma *teoria nova* que foi formulada pelo aprendiz.

Desta forma, argumenta-se para o aluno que é comum para os cientistas recorrerem a soluções de experiências passadas para realizar uma nova descoberta, ou seja, a formulação de uma *nova teoria*. Assim, geralmente os cientistas recorrem à literatura científica para criar novas teorias, e que estes utilizam as situações (hipóteses) que são semelhantes (análogas) para resolver novos problemas, com algumas adaptações para a nova situação.

Sendo assim, o ambiente deve solicitar que o aluno realize a elaboração desta *teoria nova*. Para isso, o sistema deverá exibir novamente a primeira cena que se refere à teoria inicial. Porém, esta cena deverá possibilitar ao aprendiz as ferramentas necessárias para poder criar esta nova teoria (figura 55).

Portanto, o aluno deverá percorrer novamente cada cena, observando cada hipótese particular com sua respectiva generalização, para então poder elaborar uma nova hipótese. Assim, cada hipótese que for formulada pelo aprendiz deve respeitar à hierarquia de *conceitos* que foi estabelecida pela hipótese que é apresentada de forma generalizada.

Assim, para esta etapa, o sistema deve explicar para o aluno que, caso ele escolha *conceitos* que não se encaixam nesta estrutura generalizada, será exibida de forma automática uma explicação por parte do sistema informando a inconsistência que foi gerada pela não adequação da hipótese que ele está tentando criar com a situação generalizada que foi estabelecida para a teoria que está se tentando simular.

Portanto, deve-se ainda esclarecer ao aprendiz que a qualquer momento na composição da *teoria nova* (figura 55), ele pode:

- Visualizar a visão hierárquica de conceitos. E que por meio desta, é possível criar objetos, ou seja, instâncias para as classes que estão representadas nesta visão;
- Visualizar os axiomas da teoria inicial ou da teoria nova. E que ao proceder desta forma é possível: criar axiomas para a *teoria nova*; atribuir à *teoria nova* um axioma para a *causa*, e também atribuir um axioma para o *efeito*; além de poder excluir axiomas da *teoria nova*;
- Recuperar casos de história e atribuí-los para a interpretação de uma hipótese da *teoria nova*. Como também poder visualizar a interpretação em forma de história que foi atribuída tanto para a *teoria inicial*, como para a *teoria nova*;
- E por último, percorrer cada cena da teoria.

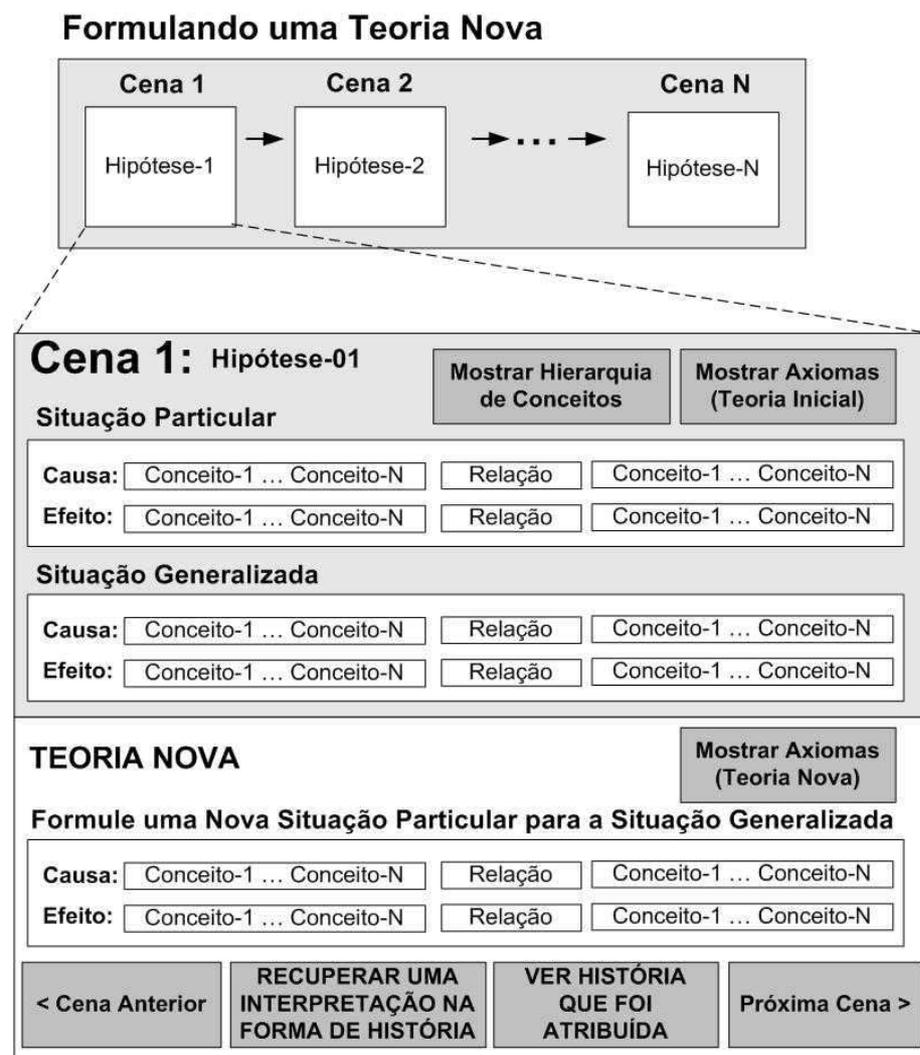


Figura 55: Esquema de Representação para Compôr uma Teoria Nova

Várias considerações conceituais foram realizadas sobre a aplicação do professor e do aluno. Porém, ainda falta esclarecer como estes dois ambientes podem se integrar por intermédio do *modelo científico* que foi elaborado com a especificação *XML-Schema* que foi definida graficamente no capítulo 6 e cujo código resultante pode ser conferido no anexo B. Portanto, conforme explicado anteriormente pode-se criar arquivos XML que são validados por estes esquemas (*schemas*). Desta forma, procura-se na próxima seção descrever de forma geral quais são de fato os arquivos XML referentes a esta especificação que devem estar presentes em cada aplicação, bem como quais destes devem ser compartilhados entre as aplicações, e quais são os arquivos que de fato representaram a teoria inicial, e quais representam a teoria nova.

7.4 ASPECTOS RELEVANTES PARA A INTEGRAÇÃO XML

Um outro ponto de interesse que deve ser esclarecido é que para que seja possível realizar a integração entre estas duas aplicações (professor e aluno), deve-se estabelecer um padrão para os nomes das *pastas* que representam os *modelos científicos* de teorias:

- Para pastas que representem *Teorias Iniciais* que foram formuladas pela aplicação do professor:
TeoriaInicial-001, TeoriaInicial-002, ... , TeoriaInicial-N;
- Para pastas que representem *Teorias Novas* que foram formuladas pela aplicação do aluno:
TeoriaNova-001, TeoriaNova-002, ... , TeoriaNova-N.

Em cada *pasta* que represente uma *teoria inicial* ou uma *teoria nova* devem existir os seguintes arquivos XML (segundo especificação *XML-Schema* que foi definida graficamente no capítulo 6), como descritos abaixo:

- Para a Pasta que represente a ***TeoriaInicial-X***:
 1. *Config.xml* - arquivo que informa a descrição referente a cada modelo de teoria, neste por sua vez, pode ser armazenado: O Título da Teoria; Uma Descrição sobre a Teoria; O Professor Responsável; e se for o caso, o Nome do Aluno Aprendiz.
 2. *VisaoHierarquica.xml*
 3. *TeoriaInicial-VisaoRelacional.xml*
 4. *TeoriaInicial-VisaoCausal.xml*
 5. *TeoriaInicial-VisaoQuestionamento.xml*
 6. *BaseDeCasosDeHipoteses.xml*
 7. *BaseDeCasosDeQuestionamentos.xml*

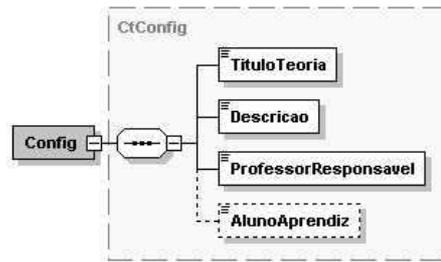


Figura 56: XML-Schema que descreve as Características de uma Teoria

- Para a Pasta que represente a **TeoriaNova-Y**:

1. *Config.xml*
2. *VisaoHierarquica.xml*
3. *TeoriaInicial-VisaoRelacional.xml*
4. *TeoriaInicial-VisaoCausal.xml*
5. *TeoriaInicial-VisaoQuestionamento.xml*
6. *BaseDeCasosDeHipoteses.xml*
7. *BaseDeCasosDeQuestionamentos.xml*
8. ***TeoriaNova-VisaoRelacional.xml***
9. ***TeoriaNova-VisaoCausal.xml***
10. ***TeoriaNova-VisaoQuestionamento.xml***

Como pode-se observar em uma *pasta* que represente uma *teoria nova* existiram três arquivos a mais que aquelas *pastas* que representam *teorias iniciais*, e como o próprio nome já diz estes são referentes à teoria do aluno, ou seja: *TeoriaNova-VisaoRelacional.xml*; *TeoriaNova-VisaoCausal.xml*; *TeoriaNova-VisaoQuestionamento.xml*. Por outro lado, os arquivos *VisaoHierarquica.xml*, *BaseDeCasosDeHipoteses.xml*, *BaseDeCasosDeQuestionamentos.xml*, devem ser compartilhados entre os demais arquivos que estão contidos em uma pasta que represente uma *teoria nova*. Pois, estes arquivos são comuns para as duas aplicações (aluno, e professor). Já os arquivos *TeoriaInicial-VisaoRelacional.xml*, *TeoriaInicial-VisaoCausal.xml*, *TeoriaInicial-VisaoQuestionamento.xml*, são referentes a a *teoria inicial* que foi formulada pelo professor.

Portanto, as diretrizes para a realização da *aplicação do professor* e da *aplicação do aluno* já foram definidas, então na próxima seção pretende-se realizar um exemplo para um conto infantil, que possa esclarecer melhor as possíveis dúvidas que possam surgir sobre esta concepção conceitual que foi realizada.

7.5 UM EXEMPLO DE CONCEPÇÃO

O presente exemplo pretende mostrar como pode ser realizado um mapeamento de uma história da literatura de contos infantis, para uma possível representação em um modelo que possa ser utilizado para a aprendizagem de conceitos que estão relacionados em uma teoria científica. Com este objetivo em mente será necessário seguir os seguintes passos:

1. Mostrar o conto infantil sobre a história de Pinóquio como definido por Buch (2003). Para então, poder estipular possíveis *causas* e *efeitos* que podem ser gerados para cada *cena* que estiver no conto;
2. Mostrar como podem ser estipulados os *conceitos* sobre esta história em uma representação hierárquica;
3. Mostrar os *axiomas* resultantes de cada *causa* e *efeito* que foi estipulado no item 1;
4. Estipular uma pequena base de casos de hipóteses e de questionamentos;
5. Mostrar o encadeamento de hipóteses da *teoria inicial* e atribuir uma *generalização* para cada uma das hipóteses desta teoria
6. Atribuir interpretação no formato de História para cada hipótese da *teoria inicial*;
7. Disponibilizar este *modelo* para que o aprendiz possa realizar a composição de uma *teoria nova*, através dos passos que já foram determinados na seção 7.3.

Portanto, estipuladas as metas, pode-se apresentar inicialmente a história de Pinóquio como definida por Buch (2003) e tentar reconhecer uma causa e um efeito para cada cena. De tal forma que, cada causa e cada efeito deve seguir o formato de uma tripla <Objeto1-Relacao-Objeto2> (PARAGUAÇU et al., 2003):

- **Cena 1:** Era uma vez um velho carpinteiro chamado Gepeto. Como morava sozinho resolveu fazer um boneco de madeira. Ao terminar seu trabalho ficou muito feliz e chamou de Pinóquio.
 - *Causa:* Gepeto | resolveu-fazer-um | Boneco-de-Madeira
 - *Efeito:* Ele | deu-o-nome-de | Pinóquio
- **Cena 2:** Gepeto ficou muito contente e surpreso, ao perceber que, depois de pronto, o boneco criou vida. Feliz da vida Gepeto arrumou roupas e vestiu Pinóquio. Seu desejo agora era fazer dele um menino educado. Comprou lápis e caneta para o menino e colocou-o na escola.
 - *Causa:* Pinóquio | ganhou | vida
 - *Efeito:* Gepeto | enviou | Pinóquio para escola

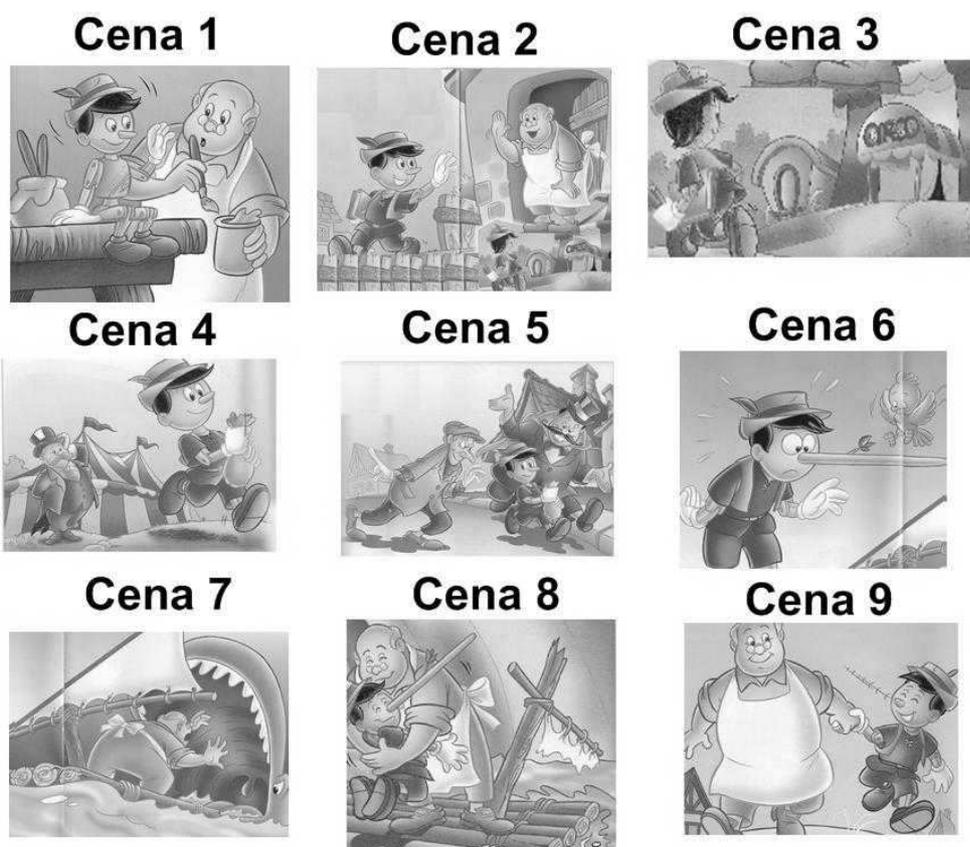


Figura 57: Cenas da História de Pinóquio

- **Cena 3:** No caminho para a escola passou em frente a um circo. Tomado pela curiosidade resolveu entrar. Como não tinha dinheiro para a entrada, vendeu o seu caderno.
 - *Causa:* Pinóquio | vendeu-o-seu | caderno
 - *Efeito:* ele entao | pagou-a-entrada-para | o circo

- **Cena 4:** O dono do circo queria ficar com Pinóquio. Ele implorou muito até que o homem acabou deixando Pinóquio ir embora. Como o dono do circo era um homem bom, acabou dando-lhe algumas moedas de ouro para que levasse a seu pai.
 - *Causa:* O-dono-do-circo | queria-ficar-com | Pinóquio
 - *Efeito:* ele | deixou-ir-e-deu | moedas-de-ouro

- **Cena 5:** Na volta para casa, Pinóquio foi seguido por dois malandros que acabaram roubando suas moedas de ouro. Triste por ter desobedecido a seu pai Gepeto, ele resolveu voltar para casa.
 - *Causa:* Pinóquio | encontrou | dois-malandros
 - *Efeito:* eles | acabaram-roubando | as moedas de ouro

- **Cena 6:** Com medo de contar a verdade para seu pai, Pinóquio inventou muitas mentiras. Cada vez que ele pensava numa mentira, que iria contar ao seu pai, o seu nariz crescia um pouco mais.
 - *Causa:* Pinóquio | com-medo-inventou-muitas-mentiras-para | Gepeto
 - *Efeito:* (O nariz de) (Pinóquio) | crescia-um-pouco-mais-cada-vez-que | mentia

- **Cena 7:** Vendo que Pinóquio não chegava, Gepeto saiu à procura do menino por toda parte durante vários dias. Com grande desejo de encontrar o menino, Gepeto foi até o mar, onde acabou sendo engolido por uma baleia.
 - *Causa:* Gepeto | foi-procurar-em-todos-os-lugares | Pinóquio
 - *Efeito:* ele | foi-ate-o-mar-onde-acabou-sendo-engolido-por | uma baleia

- **Cena 8:** Pinóquio chegando a casa soube que o seu pai estava a sua procura. Soube também que seu pai tinha sido engolido por uma baleia. Ele foi até o mar para tentar salvá-lo. Foi engolido pela baleia também. Grande foi a surpresa de Gepeto quando viu Pinóquio. Assim que a baleia abriu a boca, ambos fugiram.
 - *Causa:* Pinóquio | tentou-salva-lo-mas-foi-engolido-também | pela baleia
 - *Efeito:* Pinóquio e Gepeto | fugiram-de-dentro | da baleia

- **Cena 9:** Os dois voltaram para casa. Pinóquio pediu desculpas ao seu pai pela desobediência. Ele disse que não mentiria mais e com isso seu nariz voltou ao tamanho normal. Deste dia em diante Gepeto e Pinóquio viveram felizes para sempre.
 - *Causa:* Pinóquio | pediu-desculpas-por-desobedecer | Gepeto
 - *Efeito:* Entao (o nariz de) Pinóquio | voltou-ao-tamanho | normal

Desta forma, com a definição das respectivas *causas* e *efeitos* em *triplos* que foram estipuladas para cada cena tornou-se possível idealizar quais são os *conceitos* que devem aparecer em uma representação hierárquica, como também, os *axiomas* referentes as hipóteses de cada cena. Portanto, para concretizar a visão hierarquia, foram definidos mais alguns conceitos, segundo representação que pode ser visualizada na figura 58.

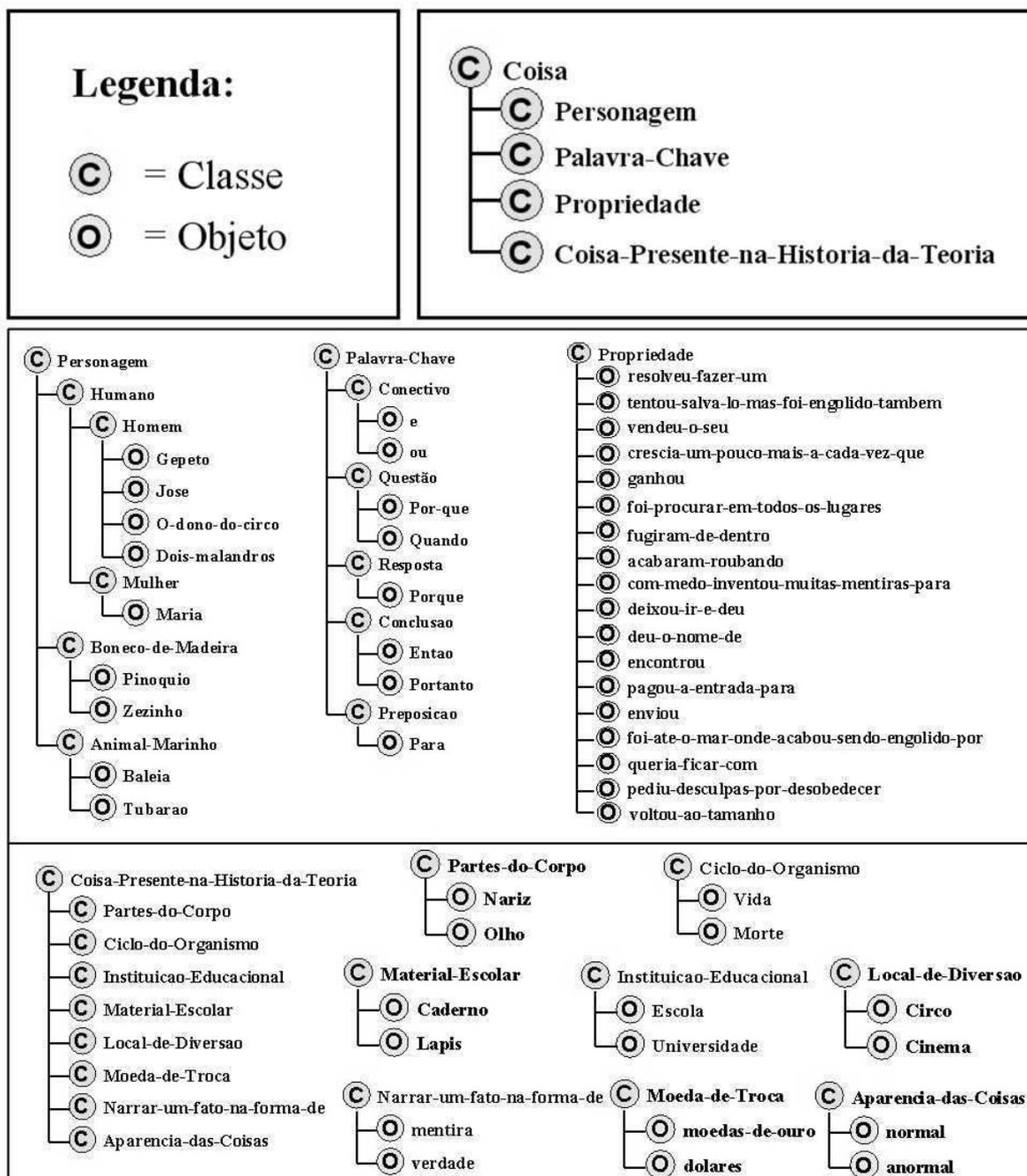


Figura 58: Taxonomia de Conceitos

Com esta taxonomia (de forma particionada) que foi definida (figura 58) é possível subir na árvore e obter inferências tais como:

1. objeto-A (instance-of) classe-B;
2. classe-x (is-a) classe-y.

Portanto, pode-se mapear esta taxonomia que foi definida na figura 58 para uma representação que venha a concretizar o modelo XML que representa a visão hierárquica. Desta forma, resumidamente a visão hierárquica pode ser visualizada como proposto pela tabela 1.

Tabela 1: Esquema de Representação da Visão Hierárquica (Teoria Inicial)

Identificador Conceito	Tipo	Definições Alternativas	Hierarquia Acima	Hierarquia Abaixo
Coisa	Classe Abstrata	Coisa	-	Personagem; Propriedade; Palavra-Chave; Coisa-Presente-na-Historia-da-Teoria
Personagem	Classe	Personagem	Coisa	Humano; Boneco-de-Madeira; Animal-Marinho
Humano	Classe	Humano	Personagem	Homem; Mulher
Homem	Classe	Homem	Humano	Gepeto; Jose; O-dono-do-circo; Dois-Malandros
Gepeto	Objeto	Gepeto; ele; pai	Homem	-
Jose	Objeto	José	Homem	-
O-dono-do-circo	Objeto	o dono do circo; ele	Homem	-
Dois-Malandros	Objeto	dois malandros; eles	Homem	-
Mulher	Classe	boneco de madeira	Humano	Maria
Maria	Objeto	Maria; ela	Mulher	-
Boneco-de-Madeira	Classe	boneco de madeira	Personagem	Pinoquio; Zezinho
Pinoquio	Objeto	Pinóquio; ele	Boneco-de-Madeira	-
Zezinho	Objeto	Zezinho; ele	Boneco-de-Madeira	-
Animal-Marinho	Classe	Animal marinho	Personagem	Baleia; Tubarao
Baleia	Objeto	Baleia; uma baleia; pela baleia; da baleia	Animal-Marinho	-
Tubarão	Objeto	Tubarão; um tubarão; pelo tubarão; do tubarão	Animal-Marinho	-
Palavra-Chave	Classe Abstrata	Palavra chave	Coisa	Conectivo; Questao; Resposta; Conclusao
Conectivo	Classe	Conectivo	Palavra-Chave	
e	Objeto	e	Conectivo	-
ou	Objeto	ou	Conectivo	-
Questao	Classe	Questão	Palavra-Chave	
Por-que	Objeto	Por que	Questao	-
Quando	Objeto	Quando	Questao	-
Resposta	Classe	Resposta	Palavra-Chave	
Porque	Objeto	Porque	Resposta	-
Conclusao	Classe	Conclusão	Palavra-Chave	
Entao	Objeto	Então	Conclusao	-
Portanto	Objeto	Portanto	Conclusao	-
Preposicao	Classe	Preposição	Palavra-Chave	
Para	Objeto	Para	Preposicao	-
Coisa-Presente-na-Historia-da-Teoria	Classe Abstrata	Coisa Presente na História da Teoria	Coisa	Partes-do-Corpo; Ciclo-do-Organismo; Instituicao-Educacional; Material-Escolar; Local-de-Diversao; Narra-um-fato-na-forma; Moeda-de-Troca; Aparencia-da-Coisas
Partes-do-Corpo	Classe	Partes do Corpo	Coisa-Presente-na-Historia-da-Teoria	Nariz; Olho
Nariz	Objeto	o nariz de	Partes-do-Corpo	-
Olho	Objeto	o olho de	Partes-do-Corpo	-

Continuação da Tabela 1:

Identificador	Conceito	Tipo	Definições Alternativas	Hierarquia Acima	Hierarquia Abaixo
Ciclo-do-Organismo		Classe	Ciclo do Organismo	Coisa-Presente-na-Historia-da-Teoria	Vida; Morte
Vida		Objeto	vida	Ciclo-do-Organismo	-
Morte		Objeto	morte	Ciclo-do-Organismo	-
Instituicao-Educacional		Classe	Instituição Educacional	Coisa-Presente-na-Historia-da-Teoria	Escola; Universidade
Escola		Objeto	escola	Instituicao-Educacional	-
Universidade		Objeto	universidade	Instituicao-Educacional	-
Material-Escolar		Classe	Material escolar	Coisa-Presente-na-Historia-da-Teoria	Caderno; Lapis
Caderno		Objeto	caderno	Material-Escolar	-
Lapis		Objeto	lápiz	Material-Escolar	-
Local-de-Diversao		Classe	Local de diversão	Coisa-Presente-na-Historia-da-Teoria	Circo; Cinema
Circo		Objeto	circo; o circo	Local-de-Diversao	-
Cinema		Objeto		Local-de-Diversao	-
Narra-um-fato-na-forma		Classe	Narra um fato na forma	Coisa-Presente-na-Historia-da-Teoria	Mentira; Verdade
Mentira		Objeto	mentira; mentia	Narra-um-fato-na-forma	-
Verdade		Objeto	verdade; conta a verdade	Narra-um-fato-na-forma	-
Moeda-de-Troca		Classe	Moeda de troca	Coisa-Presente-na-Historia-da-Teoria	Moedas-de-Ouro; Dolares
Moedas-de-Ouro		Objeto	moedas de ouro; as moedas de ouro	Moeda-de-Troca	-
Dolares		Objeto	dólares	Moeda-de-Troca	-
Aparencia-da-Coisas		Classe	Aparência das coisas	Coisa-Presente-na-Historia-da-Teoria	Normal; Anormal
Normal		Objeto	normal	Aparencia-da-Coisas	-
Anormal		Objeto	anormal	Aparencia-da-Coisas	-
Propriedade		Classe	Propriedade	Coisa	resolveu-fazer-um; deu-o-nome-de; ganhou; enviou; vendeu-o-seu; pagou-a-entrada-para; queria-ficar-com; deixou-ir-e-deu; encontrou; acabaram-roubando; com-medo-inventou-muitas-mentiras-para; crescia-um-pouco-mais-cada-vez-que; foi-procurar-em-todos-os-lugares;foi-ate-o-mar-onde-acabou-sendo-engolido-por; tentou-salva-lo-mas-foi-engolido-também; fugiram-de-dentro;pediu-desculpas-por-desobedecer; voltou-ao-tamanho
resolveu-fazer-um		Objeto	resolveu fazer um	Propriedade	-
deu-o-nome-de		Objeto	deu o nome de	Propriedade	-
ganhou		Objeto	Ganhou	Propriedade	-
enviou		Objeto	enviou	Propriedade	-
vendeu-o-seu		Objeto	vendeu o seu	Propriedade	-
pagou-a-entrada-para		Objeto	pagou a entrada para	Propriedade	-
queria-ficar-com		Objeto	queria ficar com	Propriedade	-
deixou-ir-e-deu		Objeto	deixou ir e deu	Propriedade	-
encontrou		Objeto	encontrou	Propriedade	-

Continuação da Tabela 1:

Identificador Conceito	Tipo	Definições Alternativas	Hierarquia Acima	Hierarquia Abaixo
acabaram-roubando	Objeto	acabaram roubando	Propriedade	-
com-medo-inventou-muitas-mentiras-para	Objeto	com medo inventou muitas mentiras para	Propriedade	-
crescia-um-pouco-mais-cada-vez-que	Objeto	crescia um pouco mais cada vez que	Propriedade	-
foi-procurar-em-todos-os-lugares	Objeto	foi procurar em todos os lugares	Propriedade	-
foi-ate-o-mar-onde-acabou-sendo-engolido-por	Objeto	foi ate o mar onde acabou sendo engolido por	Propriedade	-
tentou-salva-lo-mas-foi-engolido-também	Objeto	tentou salva-lo mas foi engolido também	Propriedade	-
fugiram-de-dentro	Objeto	fugiram de dentro	Propriedade	-
pediu-desculpas-por-desobedecer	Objeto	pediu desculpas por desobedecer	Propriedade	-
voltou-ao-tamanho	Objeto	voltou ao tamanho	Propriedade	-

Por conseguinte, como resultado de cada *causa e efeito* que foi estipulado anteriormente, pode-se então, visualizar os *axiomas da teoria inicial*, como segue³:

Axioma	Objeto1	Relacao	Objeto2
01	Gepeto	resolveu-fazer-um	Boneco-de-Madeira
02	(Ele)	deu-o-nome-de	Pinoquio
03	Pinoquio	ganhou	Vida
04	Gepeto	enviou	Pinoquio para Escola
05	Pinoquio	vendeu-o-seu	Caderno
06	Pinoquio Entao	pagou-a-entrada-para	(o circo)
07	O-dono-do-circo	queria-ficar-com	Pinoquio
08	(Ele)	deixou-ir-e-deu	Moedas-de-Ouro
09	Pinoquio	encontrou	Dois-Malandros
10	(Eles)	acabaram-roubando	(as moedas de ouro)
11	Pinoquio	com-medo-inventou-muitas-mentiras-para	Gepeto
12	(O nariz de) Pinoquio	crescia-um-pouco-mais-cada-vez-que	(mentia)
13	Gepeto	foi-procurar-em-todos-os-lugares	Pinoquio
14	(Ele)	foi-ate-o-mar-onde-acabou-sendo-engolido-por	(uma baleia)
15	Pinoquio	tentou-salva-lo-mas-foi-engolido-tambem	(pela baleia)
16	Pinoquio e Gepeto	fugiram-de-dentro	(da baleia)
17	Pinoquio	pediu-desculpas-por-desobedecer	Gepeto
18	Entao (o nariz de) Pinoquio	voltou-ao-tamanho	Normal

Tabela 2: Visão Relacional (Teoria Inicial)

³Identifica-se que nos *axiomas* 02, 08, e 14 existem referências que estão representadas pela palavra: (*ele*). Estas referências, por sua vez, se referem respectivamente aos identificadores (IdentificadoConceito): Gepeto, O-dono-do-circo, e Gepeto novamente. Identifica-se também no *axioma* 10 uma referência para (*as moedas de ouro*) que se refere ao conceito identificado por *Moedas-de-Ouro*. Já nos *axiomas* 6, 12, 14, 15, 16, e 18 existem referências para: (*o circo*), (*O nariz de*), (*uma baleia*), (*pela baleia*), e (*da baleia*). Onde, entende-se que para estas referências seguem os seguintes identificadores de conceito (*IdentificadorConceito*): *Circo*, *Nariz*, e *Baleia*. Em outro momento, identifica-se o *axioma* 12 como uma referência para (*mentia*) que refere-se ao conceito (*Mentira*). E por último, no *axioma* 10 existe uma referência para (*eles*), que na verdade está se referenciado ao identificador *Dois-Malandros*.

Seguindo os passos que foram estipulados anteriormente define-se, então, uma pequena base de casos de hipóteses, ou seja, primeiro devem-se inserir os casos para cada *causa e efeito* (índices) que foram identificados com a *interpretação da história* feita por Buch (2003). Após, inserir cada cena como proposto pelo conto, devem-se criar algumas variações de interpretação para as cenas que foram inicialmente propostas pela história. Assim, para cada variação que for realizada deve-se inserir os novos respectivos casos na base de casos de hipóteses. Sendo assim, observe então, o que pode ser feito:

Caso	Causa	Efeito	História
C-H-(01)	Gepeto | resolveu-fazer-um | Boneco-de-Madeira	Ele | deu-o-nome-de | Pinóquio	Era uma vez um velho carpinteiro chamado Gepeto . Como morava sozinho resolveu fazer um boneco de madeira . Ao terminar seu trabalho ficou muito feliz e chamou de Pinóquio .
C-H-(02)	...	...	...
C-H-(N)	Pinoquio | pediu-desculpas-por-desobedecer | Gepeto	Entao (o nariz de) Pinoquio | voltou-ao-tamanho | normal	Os dois voltaram para casa. Pinóquio pediu desculpas ao seu pai pela desobediência. Ele disse que não mentiria mais e com isso seu nariz voltou ao tamanho normal. Deste dia em diante Gepeto e Pinóquio viveram felizes para sempre.
C-H-(N+1)	Jose | resolveu-fazer-um | Boneco-de-Madeira	Ele | deu-o-nome-de | Zezinho	<i>Era uma vez, um velho muito pobre que era carpinteiro, o seu nome era José. José morava sozinho na rua, mas gostava de freqüentar uma marcenaria, então, em um belo dia, resolveu fazer um boneco de madeira. Ao terminar seu trabalho, José ficou muito triste, pois o boneco de madeira teria que ir morar com ele na rua. Mas, mesmo assim, José deu um nome para o boneco de madeira, e então o chamou de Ze-zinho.</i>
C-H-(N+2)	...	...	...
C-H-(M)	Ze-zinho | pediu-desculpas-por-desobedecer | Jose	Entao (o nariz de) Ze-zinho | voltou-ao-tamanho | normal	<i>Os dois voltaram para o beco em que moravam. Ze-zinho pediu desculpas ao seu pai pela desobediência. Ele disse que não mentiria mais e com isso seu nariz voltou ao tamanho normal. Deste dia em diante José e Ze-zinho viveram nas ruas muito tristes por que ainda não tinha uma casa para morar.</i>
...

Tabela 3: Base de Casos de Hipóteses

Para então, posteriormente definir a base de casos de questionamentos:

Caso	Questão	Resposta	História
C-H-(01) | Q-01	Por-que Gepeto | queria-um | Boneco-de-Madeira	Porque ele | morava | sozinho	Gepeto vivia muito triste por não ter um filho, e se sentia muito sozinho. Assim, resolveu fazer um boneco de madeira para lhe fazer companhia.
C-H-(01) | Q-02	...	...	...
C-H-(N) | Q-01	...	...	...

Tabela 4: Base de Casos de Questionamentos

Feito isso, pode-se elaborar então um encadeamento de hipóteses para a *teoria inicial*, estabelecendo as *generalizações* correspondentes para cada *causa* e *efeito* desta teoria. Assim, para esta apresentação que será feita pela tabela a seguir foi adotada a legenda [(C), (V)], que serve para dizer se aquele *conceito* que está *generalizando* outro *conceito particular*, é uma *constante* (C), ou é uma *variável* (V):

Hipótese-01	Objeto1	Relacao	Objeto2
<i>Causa:</i>	Gepeto	resolveu-fazer-um	Boneco-de-Madeira
<i>Efeito:</i>	(Ele)	deu-o-nome-de	Pinoquio
<i>CausaGeral:</i>	Homem (V)	resolveu-fazer-um	Boneco-de-Madeira (C)
<i>EfeitoGeral:</i>	Homem (V)	deu-o-nome-de	Boneco-de-Madeira (V)
Hipótese-02	Objeto1	Relacao	Objeto2
<i>Causa:</i>	Pinoquio	ganhou	Vida
<i>Efeito:</i>	Gepeto	enviou	Pinoquio para Escola
<i>CausaGeral:</i>	Boneco-de-Madeira (V)	ganhou	vida (C)
<i>EfeitoGeral:</i>	Homem (V)	enviou	Boneco-de-Madeira (V) para (C) Intituicao-Educacional (V)
Hipótese-03	Objeto1	Relacao	Objeto2
<i>Causa:</i>	Pinoquio	vendeu-o-seu	Caderno
<i>Efeito:</i>	Pinoquio Entao	pagou-a-entrada-para	(o circo)
<i>CausaGeral:</i>	Boneco-de-Madeira (V)	vendeu-o-seu	Material-Escolar (V)
<i>EfeitoGeral:</i>	Boneco-de-Madeira (V) Entao (C)	pagou-a-entrada-para	Local-de-Diversao (V)
Hipótese-04	Objeto1	Relacao	Objeto2
<i>Causa:</i>	O-dono-do-circo	queria-ficar-com	Pinoquio
<i>Efeito:</i>	(Ele)	deixou-ir-e-deu	Moedas-de-Ouro
<i>CausaGeral:</i>	Homem (V)	queria-ficar-com	Boneco-de-Madeira (V)
<i>EfeitoGeral:</i>	Homem (V)	deixou-ir-e-deu	Moeda-de-Troca (V)
Hipótese-05	Objeto1	Relacao	Objeto2
<i>Causa:</i>	Pinoquio	encontrou	Dois-Malandros
<i>Efeito:</i>	(Eles)	acabaram-roubando	(as moedas de ouro)
<i>CausaGeral:</i>	Boneco-de-Madeira (V)	encontrou	Dois-Malandros (C)
<i>EfeitoGeral:</i>	Dois-Malandros (C)	acabaram-roubando	Moeda-de-Troca (V)
Hipótese-06	Objeto1	Relacao	Objeto2
<i>Causa:</i>	Pinoquio	com-medo-inventou-muitas-mentiras-para	Gepeto
<i>Efeito:</i>	(O nariz de) Pinoquio	crescia-um-pouco-mais-cada-vez-que	(mentia)
<i>CausaGeral:</i>	Boneco-de-Madeira (V)	com-medo-inventou-muitas-mentiras-para	Homem (V)
<i>EfeitoGeral:</i>	Partes-do-Corpo (V) Boneco-de-Madeira (V)	crescia-um-pouco-mais-cada-vez-que	Narrar-um-fato-na-forma-de (V)
Hipótese-07	Objeto1	Relacao	Objeto2
<i>Causa:</i>	Gepeto	foi-procurar-em-todos-os-lugares	Pinoquio
<i>Efeito:</i>	(Ele)	foi-ate-o-mar-onde-acabou-sendo-engolido-por	(uma baleia)
<i>CausaGeral:</i>	Homem (V)	foi-procurar-em-todos-os-lugares	Boneco-de-Madeira (V)
<i>EfeitoGeral:</i>	Homem (V)	foi-ate-o-mar-onde-acabou-sendo-engolido-por	Animal-Marinho (V)
Hipótese-08	Objeto1	Relacao	Objeto2
<i>Causa:</i>	Pinoquio	tentou-salva-lo-mas-foi-engolido-tambem	(pela baleia)
<i>Efeito:</i>	Pinoquio e Gepeto	fugiram-de-dentro	(da baleia)
<i>CausaGeral:</i>	Boneco-de-Madeira (V)	tentou-salva-lo-mas-foi-engolido-tambem	Animal-Marinho (V)
<i>EfeitoGeral:</i>	Boneco-de-Madeira (V) e (C) Homem (V)	fugiram-de-dentro	Animal-Marinho (V)
Hipótese-09	Objeto1	Relacao	Objeto2
<i>Causa:</i>	Pinoquio	pediu-desculpas-por-desobedecer	Gepeto
<i>Efeito:</i>	Entao (o nariz de) Pinoquio	voltou-ao-tamanho	Normal
<i>CausaGeral:</i>	Boneco-de-Madeira (V)	pediu-desculpas-por-desobedecer	Homem (V)
<i>EfeitoGeral:</i>	Entao (C) Partes-do-Corpo (V) Boneco-de-Madeira (V)	voltou-ao-tamanho	Aparencia-das-Coisas (V)

Tabela 5: Encadeamento de Hipóteses na Visão Causal (Teoria Inicial)

Agora deve-se atribuir uma história para cada *hipótese* que foi formulada na *visão causal* (representada pela tabela 5). Portanto, a comunidade de professores deve recuperar os casos de histórias e ver qual a que melhor se aplica a cada hipótese em questão. Contudo, como este é um ambiente que utiliza

contos, deve-se deixar a história original de Pinóquio, assim como narrada por Buch (2003), e deixar que ocorram as variações desta história por parte do aluno aprendiz, quando este estiver formulando a *teoria nova*.

Desta forma, quando o aluno escolher o modelo XML que representa a história de Pinóquio, ele poderá criar versões diferentes com uma nova *interpretação* em forma de história. E, para isso, este deve percorrer cada cena da teoria inicial (como foi explicado na figura 55 da seção 7.3), observar a hipótese particular e generalizada de cada cena, para então estipular uma nova hipótese que satisfaça as restrições de domínio estabelecidas pela generalização que foi determinada (um outro esquema representacional pode ser observado na figura 59). Onde, o aluno deve criar cada *axioma* que será usado para cada *causa* e para cada *efeito* de cada hipótese (cena). Estabelecido isto, o aprendiz pode então obter os casos de histórias de hipóteses e determinar qual deve ser adaptada para a nova situação (segue explicação já realizada na seção 7.3).

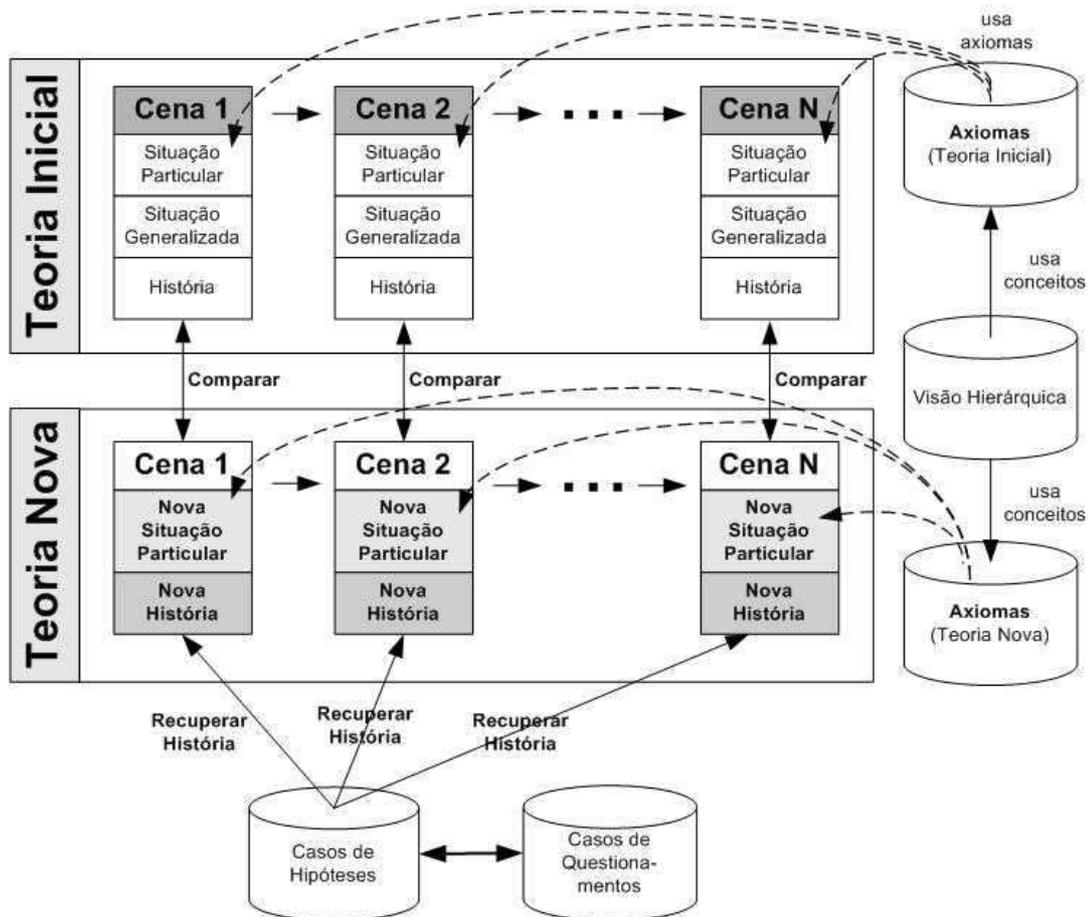


Figura 59: O Aluno deve Comparar cada Cena e Formular uma outra Situação Particular

Portanto, fica a cargo do aprendiz tirar as suas próprias conclusões a respeito das sugestões em forma de história que forem recuperadas. Pois, como foi proposto, este trabalho se enquadra como sendo um *ambiente de descoberta* (PARAGUAÇU, 1997), onde não existe um tutor, pois o aluno é seu próprio tutor, devendo estruturar o seu próprio conhecimento, não por um conhecimento transmitido, mas, pela

disponibilidade na interface do *conhecimento do domínio*.

7.6 CONCLUSÃO

Observa-se que a proposta conceitual para este *ambiente de descoberta* foi a de que este deve proporcionar ao aprendiz a assimilação de conceitos para a obtenção do *vocabulário de termos em ciência* que são utilizados para a formulação de uma *teoria científica*. Este processo de assimilação por parte do aprendiz foi estimulado pela exposição de cenas de um conto infantil, que foram associadas a axiomas e teoremas que resultaram em hipóteses formuladas por professores.

Outro aspecto constatado que está presente no ambiente proposto é o *ensino baseado em casos* que é utilizado para a obtenção por parte do aprendiz do *raciocínio através de analogias*. Para isso, o sistema argumenta para o aprendiz que cientistas constantemente utilizam este recurso na pesquisa científica, e que estes consultam a literatura científica para a realização de novas descobertas pela recuperação e adaptação de casos passados que se propõem a uma nova solução para um problema que está sendo pesquisado.

Dentro desta realidade que foi proposta por este ambiente de descoberta, observa-se também que foi apresentado ao aprendiz um exemplo concreto de formulação de hipótese para cada cena do conto, e que foi solicitado que este solucione aquele problema, estimulando-o a utilizar o *raciocínio indutivo* para gerar uma nova *situação particular* a partir da *situação generalizada* que lhe foi apresentada em cada cena.

Desta forma, foi argumentado que *contradições de raciocínio* seriam geradas de forma automática pelo sistema, e o fato aqui presente é que este recurso estimula o *raciocínio dedutivo categórico* que o aprendiz deve assimilar neste *processo de aprendizagem de conceitos*, e que a partir dos erros cometidos pelo aprendiz espera-se que ele assimile o que está sendo proposto pela categorização ontológica da representação que está sendo realizada pelas classes e objetos que estão presentes na visão hierárquica. Por outro lado, ao ser solicitado que o aprendiz formule uma nova *situação particular* por intermédio de uma *situação generalizada (lei causal)* fica subentendido que esta estratégia serve para que o aprendiz entenda como *situações particulares* são *deduzidas* a partir de formulações elaboradas por intermédio de *leis científicas*.

Um outro estímulo que foi possibilitado pelo ambiente foi a possibilidade do uso do *raciocínio causal*, pelo fato da argumentação usada de que cientistas formulam hipóteses pela representação de uma causa e um efeito, e que para cada *causa* e para cada *efeito* que estiver representado nas hipóteses de uma teoria, deve existir uma relação direta com a formulação de *axiomas*. Esses são elaborados a partir de *conceitos* que estão organizados categoricamente em uma visão hierárquica. Assim, uma *teoria* que seja formulada resulta de um *encadeamento causal de hipóteses*.

Portanto, resta-nos explicar no próximo capítulo as considerações finais sobre este trabalho em um nível mais abrangente que possa capturar as questões de grande importância que foram observadas durante a elaboração deste trabalho.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer deste trabalho, foram feitas várias considerações para proporcionar o embasamento necessário para propor o modelo MIDES++ e a arquitetura SLEC (capítulo 5). Basicamente, o modelo e a arquitetura solucionaram a integração de duas aplicações por intermédio de uma formalização XML.

Desta forma, este trabalho teve basicamente três contribuições, ou seja, a proposta realizada pela idealização do modelo MIDES++, a arquitetura SLEC, como também, a própria formalização que foi realizada para concretizar o modelo proposto para esta arquitetura.

Observa-se, portanto, que a formalização do modelo em XML possibilitou visualizar o conhecimento sobre a elaboração de uma teoria científica como um sistema axiomático. Assim, a forma que foi elaborada este modelo XML possibilitou ainda visualizar uma teoria em quatro visões de conhecimento (hierárquica, relacional, causal, e de questionamento) que, em outras palavras, pode-se entender que estas quatro visões possibilitam concretizar:

1. *Um modelo para um domínio do conhecimento (Modelo de Domínio):* representado pela *visão hierárquica*¹ (que é *compartilhada* pelo professor e pelo aprendiz); e pela *visão relacional* (referente em um momento a *teoria inicial*², e em outro momento a *teoria nova*³, com os *axiomas* que são elaborados para cada uma das duas aplicações, ou seja, aplicação do professor e do aluno);
2. *Um modelo para representar uma teoria formulada pelo professor (Modelo do Professor):* representado basicamente na *teoria inicial*⁴, pelas visões: relacional (axiomas), causal (hipóteses) e de questionamento (perguntas e respostas sobre as hipóteses);
3. *Um modelo para concretizar uma teoria do aluno (Modelo do Aluno):* representado basicamente na *teoria nova*⁵, pelas visões: relacional (axiomas), causal (hipóteses) e de questionamento (perguntas e respostas sobre as hipóteses).

¹VisaoHierarquica.xml

²TeoriaInicial-VisaoRelacional.xml

³TeoriaNova-VisaoRelacional.xml

⁴TeoriaInicial-VisaoRelacional.xml; TeoriaInicial-VisaoCausal.xml; TeoriaInicial-VisaoQuestionamento.xml

⁵TeoriaNova-VisaoRelacional.xml; TeoriaNova-VisaoCausal.xml; TeoriaNova-VisaoQuestionamento.xml

Por outro lado, observa-se que o modelo que foi formalizado não possibilitou muita interatividade para o ambiente de descoberta que foi proposto, ou seja, no modelo que foi formalizado, não existem *estratégias de ensino (Modelo Pedagógico)* para proporcionar ao aprendiz uma melhor interação com o ambiente. Porém, identifica-se, ainda, que é possível definir uma maior interatividade para este ambiente. Por intermédio de uma adição de um *script* para cada cena (na *visão causal*, da *teoria inicial*), que possa verificar as possibilidades de ação do aprendiz e possa ter uma retroação mais eficaz para cada situação que for identificada. Porém, esta é uma proposta para futuras extensões que possam ser realizadas no modelo que foi apresentado neste trabalho.

Em um outro momento deve-se acrescentar, ainda, como uma futura extensão para o modelo XML, a definição de uma métrica de similaridade que possibilite a recuperação dos melhores casos de hipóteses e de questionamentos, mas para esta realização deve-se possibilitar uma integração com a forma de recuperação que já foi estipulada, ou seja, a obtenção dos casos por intermédio das situações generalizadas. Desta forma, tal processo de recuperação deve ser realizado paralelamente, onde para cada caso recuperado deve-se atribuir um valor de similaridade obtido por intermédio da distância dos conceitos que estão inseridos na visão hierárquica, que de preferência deve ser obtido de forma automática.

Um aspecto importante a acrescentar para extensões futuras, ao que foi exposto para a elaboração deste trabalho, é a necessidade de determinar uma forma para verificar a coerência causal que deve ser respeitada no encadeamento de hipóteses para a teoria nova que foi estipulada pelo aprendiz, ou seja, deve existir uma rotina para verificar se os *conceitos*⁶ introduzidos pelo aprendiz na formulação da teoria nova (nova instância da teoria inicial) está paralelamente coerente com os *conceitos* que foram introduzidos pela comunidade de professores na *instância inicial*⁷ que foi estipulada para o modelo que representa a teoria inicial.

Uma outra extensão que pode ser realizada para o modelo que foi formalizado é a possibilidade de uma ramificação causal mais abrangente. Pois, como foi colocado neste trabalho, a visão causal é representada como uma lista linear, para o caso de uma teoria científica, que visa ter uma concatenação de leis causais (Hipótese-01 -> Hipótese-02 -> ... -> Hipótese-N). No entanto, caso se queira utilizar este modelo para outras situações causais, deve-se adotar um esquema parecido, se não igual, ao que foi utilizado para a visão hierárquica, para possibilitar percorrer cada nó que está representado em uma representação em árvore (grafo se assim preferir).

Pode-se afirmar também, neste trabalho, que os procedimentos que foram apresentados para tornarem possível a geração de uma *teoria inicial* (seção 7.2) e de uma *teoria nova* (seção 7.3) utilizando a metáfora de contos por intermédio da *literatura de contos infantis*, também podem ser utilizadas para propor *teorias científicas* da *literatura científica*. Esta afirmação pode ser dividida em duas partes:

⁶Classes e/ou Objeto.

⁷*Situação particular* (ver figura 55 do capítulo 7) da teoria inicial que foi estipulada pelo professor.

- *Para gerar a teoria inicial* é necessário que uma *comunidade de cientistas* desejem documentar *teorias científicas* no formato apresentado pelo modelo MIDES++. Assim, as evidências empíricas que são confirmadas por testes experimentais em laboratório e registradas na *literatura científica* em livros e artigos científicos servem para propor uma modelagem desta teoria para o formato XML que pode ser realizado com o ambiente SLEC.
- *Por outro lado, para gerar uma teoria nova*, fazendo referência aos conceitos que estão relacionados à *literatura científica*, deve-se indagar que os aprendizes devem ter embasamento teórico prévio destes conceitos e, também, das *relações*⁸ que podem ser realizadas para este novo domínio de conhecimento que está sendo abordado. Pois, conhecimento prévio é determinante para a aprendizagem de conceitos em domínios científicos através da proposta de modelagem computacional em ambientes de aprendizagem por descoberta.

Sendo assim, a constatação desta afirmação para a realização de testes em *domínios de conhecimento científico* fica para trabalhos futuros, que podem estender e melhorar o modelo MIDES++ para suportar a interação que o ambiente deve proporcionar através da *coerência causal* que deve existir entre a *teoria inicial* e a *teoria nova*. *Proporcionando assim, um melhor ganho por parte do aprendiz na forma de pensar e raciocinar cientificamente*. Pois, neste trabalho foi levado em conta apenas as formas de *mecanismos cognitivos* que os aprendizes podem desempenhar para *raciocinar cientificamente*. Contudo, para tornar também possível que o aprendiz *pense cientificamente*, exige-se que sejam utilizados conteúdos⁹ (assuntos) relacionados a domínios científicos.

Considerando agora o *Processo de Aprendizagem por Descoberta* que deve ser realizado pelo aprendiz no *Sistema Lógico de Explicação Científica (SLEC)* afirma-se que este processo é semelhante ao processo que é realizado no *modelo SDDS*. Só que em vez da nomenclatura usada como: *geração de hipótese, geração de experimento, e avaliação*, apresenta-se uma ligeira modificação, ou seja: *geração de hipótese, recuperação de casos que representam resultados de experimentos, avaliação do melhor caso para adaptação*. Contudo, ao invés de *frames* como apresentado em SDDS, utiliza-se *redes semânticas* no modelo MIDES++. Porém, existe uma semelhança entre *frames* e *esqueletos de histórias*, ou seja, em *frames* existem *slots* que deverão ser preenchidos por valores, e em *esqueletos de histórias* existem *variáveis* que recebem valores quando estiverem sendo formuladas hipóteses causais, e que servem para a *recuperação* dos casos de *hipóteses causais*, que são obtidos pelas *situações generalizadas*.

⁸Pois, cientistas têm profundidade de conhecimento relacional, diferentemente de participantes (aprendizes) em experimentos científicos. Este argumento foi feito no capítulo 4, especificamente na seção 4.3.

⁹Este argumento foi introduzido no capítulo 4 (seção 4.3).

Desta forma, como foi representado, o modelo MIDES++ pode ser considerado uma extensão para o modelo SDDS, pelo fato de existirem dois espaços de busca principais, ou seja, um *espaço de hipóteses* e um *espaço de experimentos*. Por sua vez, o espaço de experimentos é utilizado para documentar experimentos reais (registrados na *literatura científica*) na base de casos de hipóteses causais e também casos de questionamentos que são levantados para os casos de hipóteses causais que foram constatados. Esta realidade pode ser conferida pela representação esquemática que foi realizada na figura 60.

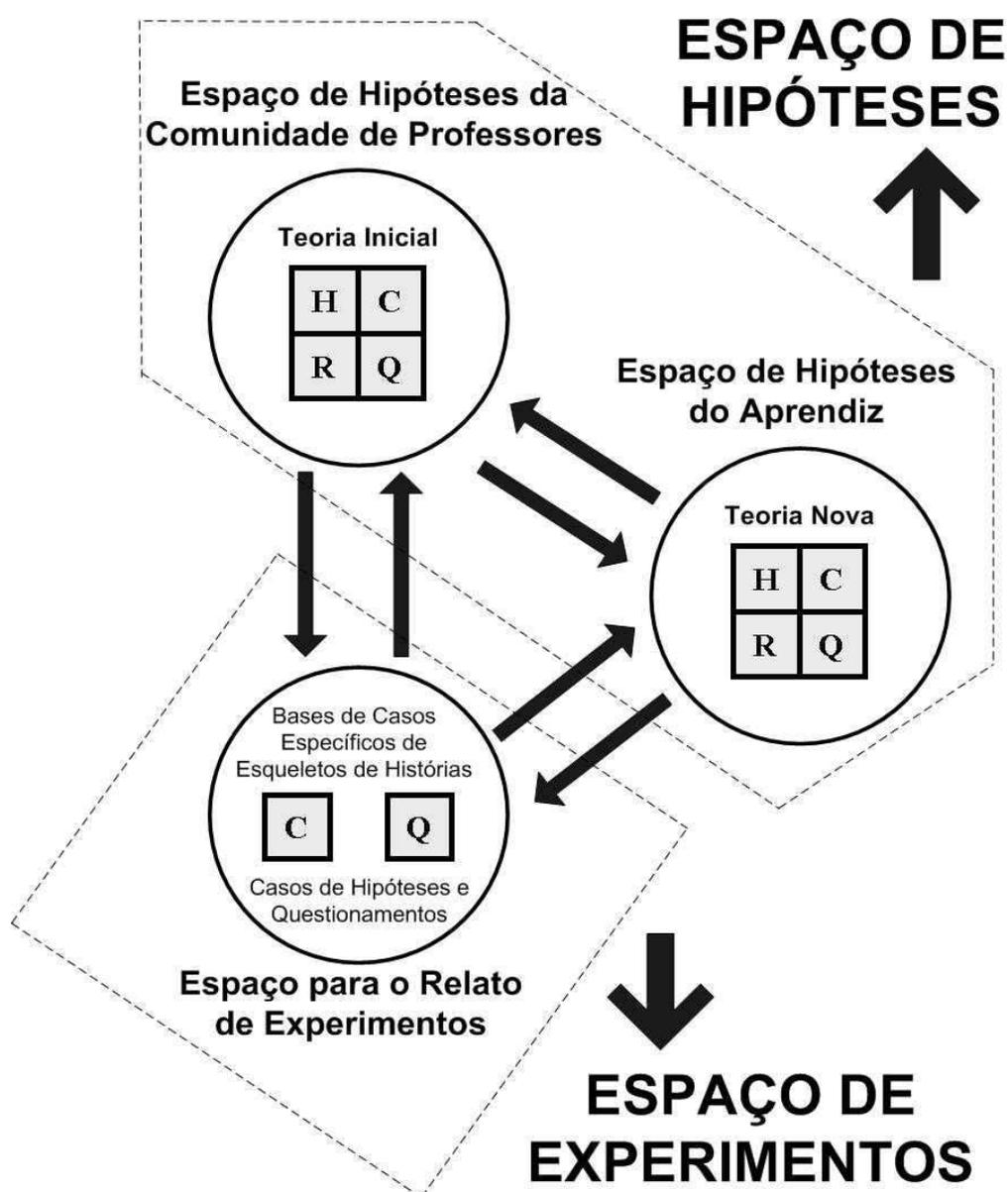


Figura 60: O Modelo Desenvolvido como uma Extensão para o Modelo SDDS

Um outro ponto a acrescentar é que fica para trabalhos futuros a implementação completa referente à arquitetura SLEC, e que após esta implementação deve ser realizado um estudo comparativo¹⁰ para se obter os efeitos da interação do ambiente de descoberta em jovens futuros cientistas que desejam entender os mecanismos cognitivos para a realização do raciocínio científico.

Sabe-se, portanto, que no decorrer deste trabalho foram feitas várias considerações, e este procurou proporcionar uma breve visão integrada de: descoberta científica; formulação de teorias científicas axiomáticas; modelos filosóficos de explicação científica; mecanismo cognitivos de raciocínio científico; aprendizagem por descoberta; modelos de aprendizagem por descoberta; sistemas tutores inteligentes; ambientes de descoberta; ontologias; e o ensino baseado em casos.

Desta forma, obteve-se desta tentativa de integração, um modelo híbrido (ontologias e RBC), uma arquitetura e uma formalização XML, como também, uma breve especificação conceitual para o desenvolvimento do *módulo de interface* (capítulo 7) do ambiente de descoberta proposto. Com isso, acredita-se que as metas que foram estipuladas para a integração das duas aplicações (professor e aluno) por intermédio de um modelo XML foram atingidas.

¹⁰Um estudo comparativo recente que foi realizado por psicólogos em ambientes computacionais que se propõem atingir habilidades de raciocínio científico, pode ser conferido em um relatório disponibilizado por Zimmerman (2005).

PARTE III

ANEXOS

ANEXO A: INTEGRAÇÃO XML E JAVA

Este anexo objetiva mostrar uma pequena introdução sobre a especificação XML e como pode ser realizada uma integração XML com a linguagem Java.

A.1. UM EXEMPLO DE UM DOCUMENTO XML

Ao se criar um documento XML, o que realmente está se fazendo, é a elaboração de uma estrutura em forma de árvore, pela definição de uma hierarquia com a especificação de *elementos (tags)*, e sub-elementos nesta (FUNG, 2001). Desta forma, uma regra de sintaxe para elaboração de documentos XML é que todo *elemento* inserido em um documento XML tem que ter uma *tag inicial* e uma *tag final*. Até os elementos vazios (elementos sem conteúdo) têm que ter as tags finais¹. Assim, para visualizar melhor a estrutura de um documento XML, um exemplo é mostrado na figura 61.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
- <VisaoRelacional xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:noNamespaceSchemaLocation="C:\XML\Exemplo.xsd">
- <Triplas>
- <Tripla>
  <Objeto1>Gepeto</Objeto1>
  <Relacao>resolveu-fazer-um</Relacao>
  <Objeto2>Boneco-de-madeira</Objeto2>
</Tripla>
- <Tripla>
  <Objeto1>Ele</Objeto1>
  <Relacao>deu-o-nome-de</Relacao>
  <Objeto2>Pinoquio</Objeto2>
</Tripla>
- <Tripla>
  <Objeto1>Pinoquio</Objeto1>
  <Relacao>ganhou</Relacao>
  <Objeto2>vida</Objeto2>
</Tripla>
- <Tripla>
  <Objeto1>Gepeto</Objeto1>
  <Relacao>enviou-para</Relacao>
  <Objeto2>escola</Objeto2>
</Tripla>
</Triplas>
</VisaoRelacional>

```

Figura 61: Exemplo de Representação XML

¹Os elementos vazios podem ser escritos de duas formas (FUNG, 2001): (1) através de uma *tag inicial* e *tag final* combinadas (por exemplo: <etiqueta/>); (2) ou, através de uma *tag inicial* e uma *tag final* separadas (por exemplo: <etiqueta></etiqueta>).

Conforme explicação a seguir, o documento XML da figura 61 é interpretado da seguinte forma:

1. A *primeira linha* do documento serve para fazer uma **declaração XML**, que define a versão XML e também pode especificar o esquema de codificação de caracteres usado no documento, se não for especificado, será adotado *UTF-8*.
2. Na *segunda linha* temos o **elemento-raiz** denominado *VisaoRelacional*, e dois atributos, onde (W3SCHOOLS, 2005a):
 - O **primeiro atributo "xmlns:xsi"** - indica que os elementos e os tipos de dados utilizados neste Schema (schema, element, complexType, sequence, string, boolean, etc.) derivam do namespace situado em "http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance". Ele também especifica que elementos e tipos de dados oriundos de "http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" devem conter o prefixo "xsi:";
 - O **segundo atributo "xsi:noNamespaceSchemaLocation"** - indica que os elementos definidos por este Schema (*VisaoRelacional*, *Triplas*, *Tripla*, *Objeto1*, *Relacao*, *Objeto2*.) são oriundos do namespace "C:/XML/Exemplo.xsd".
3. As *linhas intermediárias*, com exceção da última, digamos entre a **tag inicial <triplas>** e **tag final </triplas>** têm-se uma hierarquia com **outros elementos aninhados** com dados embutidos. Um esboço representativo em árvore do documento XML da figura 61 é apresentado logo abaixo na figura 62.
4. A *última linha* contém uma **tag final** do **elemento-raiz** para fechar o documento.

A.2. O QUE É XML-SCHEMA?

Como observado no exemplo da seção anterior, em um cabeçalho de um documento XML pode-se fazer uma referência para um local onde existe um arquivo que possa validar a sintaxe do XML do documento corrente. Com isso, ao escrever um documento XML, este deve obedecer as regras de formatação estabelecidas nesta referência. Para realizar esta validação, existem duas possibilidades: ou através de um arquivo *DTD* (*Document Type Definition - definição de tipo de um documento*), ou através de um arquivo *XML-Schema*.

Portanto, *XML-Schema* é uma alternativa baseada em XML para o *DTD*². Um *schema* em XML descreve a estrutura de um documento XML. A linguagem *XML-Schema* também é chamada de *XML-Schema Definition (XSD)* (W3SCHOOLS, 2005a).

²*XML-Schema* tem várias vantagens em relação ao *DTD*: ser extensível a futuras expansões; ser mais amplo; ser poderoso e mais flexível que os *DTDs*; *XML-Schemas* são escritos em XML; *XML-Schemas* suportam tipo de dados; *XML-Schemas* suportam *namespaces*.

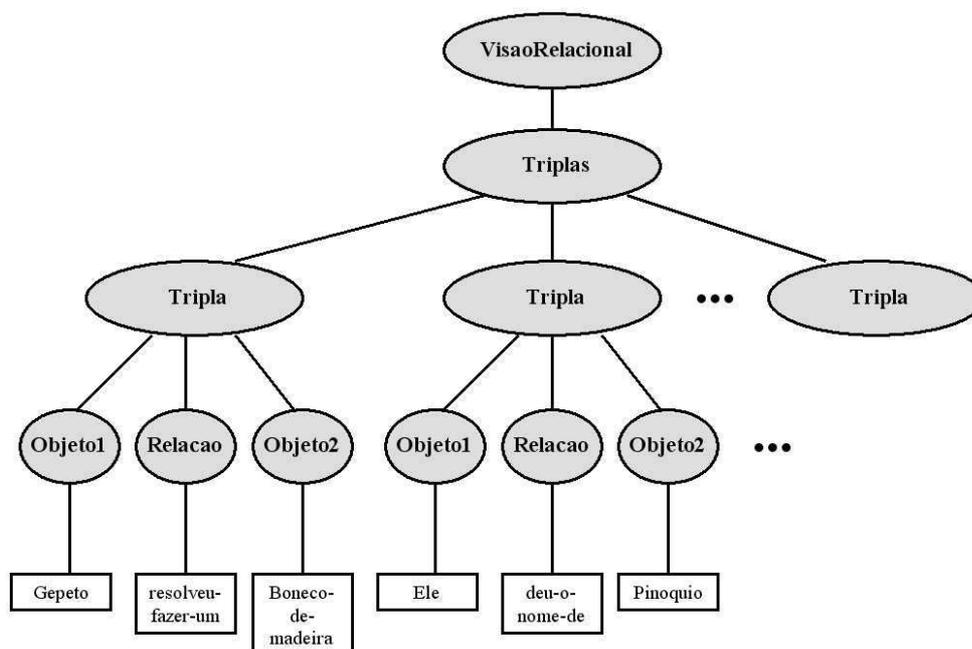


Figura 62: Representação em Árvore de um Documento XML

O propósito de um esquema XML (XML-Schema) é definir os blocos legais de construção de um documento de XML (W3SCHOOLS, 2005a). Com *XML-Schema* pode-se definir: elementos e atributos que podem aparecer no documento XML; quais elementos são "elementos filhos"; a ordem que devem aparecer os "elementos filhos"; o número de "elementos filhos"; quando um elemento deve ser vazio ou pode incluir texto; tipo de dados para os elementos e atributos; valores fixos e *default* para elementos e atributos.

A.2.1. COMO ELABORAR UM ARQUIVO XML-SCHEMA?

Para facilitar a elaboração da especificação, e como forma didática para entender o código resultante desta especificação adotamos o ambiente de Autoria Altova (ALTOVA, 2006). A baixo descrevemos o processo de elaboração neste ambiente para o arquivo XML-Schema que valida o XML do exemplo representado pela figura 61.

Portanto, ao iniciar o referido ambiente deve-se criar um arquivo novo. Ao fazer isto aparecerá uma lista com vários tipos de arquivos, escolha o tipo *xsd*. Então, aparecerá uma tela inicial para elaborar o *XML-Schema* (figura 63). Observe que nesta tela aparece "*ENTER_NAME_OF_ROOT_ELEMENT_HERE*", neste local deve-se colocar o nome do **elemento-raiz** do arquivo XML da figura 61, ou seja *VisaoRelacional*.

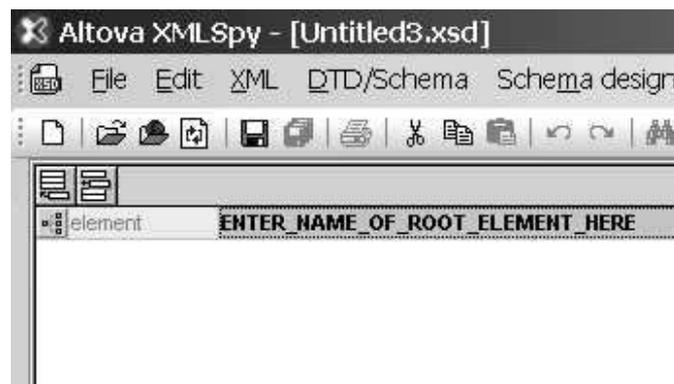


Figura 63: Tela Inicial do Ambiente Altova para Criar um Arquivo *XML-Schema*

Agora observe a figura 63 e veja que aparece um botão logo abaixo do botão para criar um arquivo novo. Clique neste botão, ao fazer isto aparecerá a seguinte tela (figura 64).

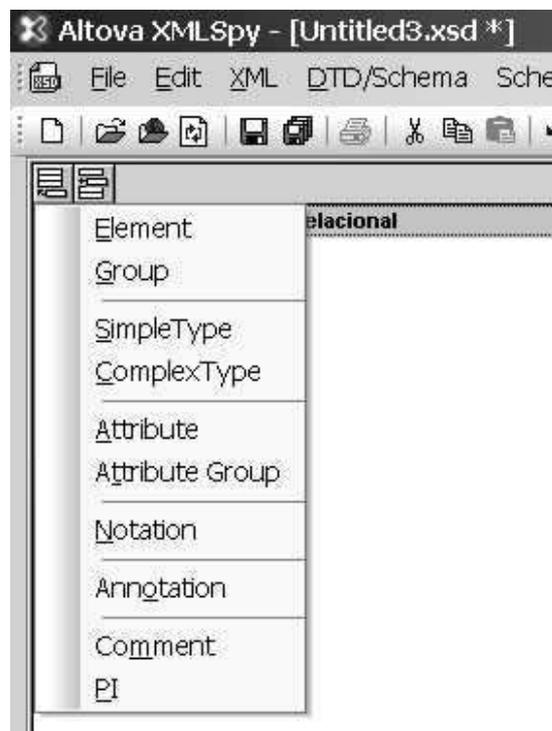


Figura 64: Menu de opções (Editor Altova)

Existem várias opções neste menu, porém não é nossa intenção ser exaustivo em passar muita informação sobre o ambiente que estamos trabalhando, nem passar muita informação sobre a especificação *XML-Schema*. Nossa meta é facilitar o aprendizado na elaboração do arquivo *XML-Schema* do exemplo específico mostrado na figura 61. Então, seremos práticos e mostraremos só o essencial para atingir este objetivo.

Desta forma, selecione o menu, e clique em *ComplexType*, ao fazer isto aparece a tela da figura 65, onde deve-se digitar o nome do *tipo complexo (ComplexType)*. Digite *CtVisaoRelacional*³.

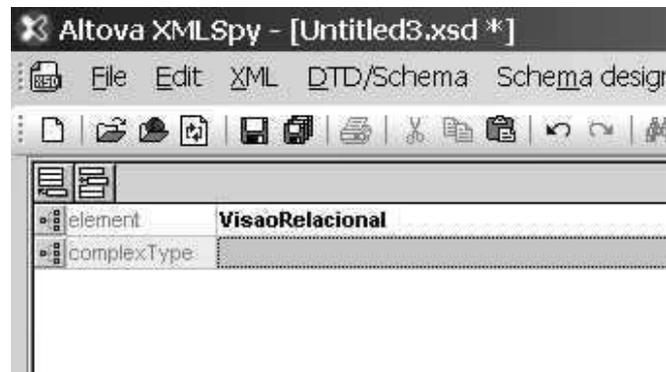


Figura 65: Definindo *Elementos e Tipos Complexos*

Repita este processo e crie mais alguns *tipos complexos* e alguns *elementos*, obtendo a tela apresentada na figura 66. Observe que os *elementos* que foram criados nesta figura são os *elementos* utilizados no XML da figura 61. Os *tipos complexos* criados são relativos aos *elementos* que consideramos terem outros elementos internamente aninhados.



Figura 66: Especificação Inicial de um Arquivo *XML-Schema*

³Adotamos colocar *Ct* como letras iniciais para identificar um tipo complexo (*ComplexType*).

Para entender melhor este raciocínio observe a figura 67, onde procurou-se dividir hierarquicamente os nós aninhados aos *elementos* em níveis.

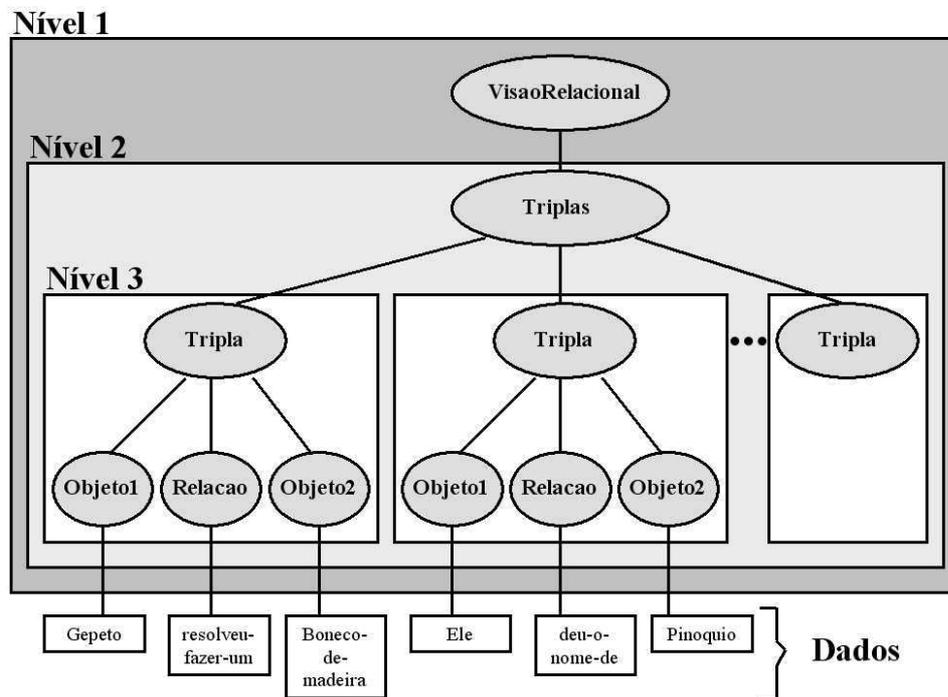


Figura 67: Níveis Hierárquicos em um Documento XML

A interpretação da figura 67 mostra o resultado relativo ao arquivo XML da figura 61. Nesta figura foram identificados 3 níveis possíveis para serem representados por *tipos complexos (ComplexType)*:

- **Nível 1:** este nível começa a partir do nó raiz, ou seja, o *elemento-raiz VisaoRelacional*. Para este *elemento* identificou-se um nível de complexidade. Portanto, existirá no arquivo *XML-Schema* a definição de um *elemento*, denominado *VisaoRelacional* e que este *elemento* terá um tipo, este é um *tipo complexo* chamado *CtVisaoRelacional*.
- **Nível 2:** segue o mesmo raciocínio anterior. Defini-se um *elemento* denominado *Triplas*, e um *tipo complexo* denominado *CtTriplas*.
- **Nível 3:** da mesma forma, define-se um *elemento* denominado *Tripla* e um *tipo complexo* denominado *CtTripla*.

Para os demais *elementos* folha (*Objeto1*, *Relacao*, *Objeto2*), decidiu-se definir cada um deles como sendo do tipo *string*. Pois, através destes elementos, ou seja, com a *tag inicial* e *tag final* de cada elemento pode-se armazenar dados internamente e estes dados, como representados na figura 67, são armazenados na forma de texto.

Portanto, a partir da especificação inicial exibida na figura 66, podem-se seguir mais alguns passos para finalizar o processo de criação do arquivo *XML-Schema*. Para um melhor entendimento, começaremos a descrever o processo de especificação dos *elementos* e dos *tipos complexos* subindo na árvore, ou seja, primeiro descreveremos os *elementos* folha até chegar ao *elemento-raiz*.

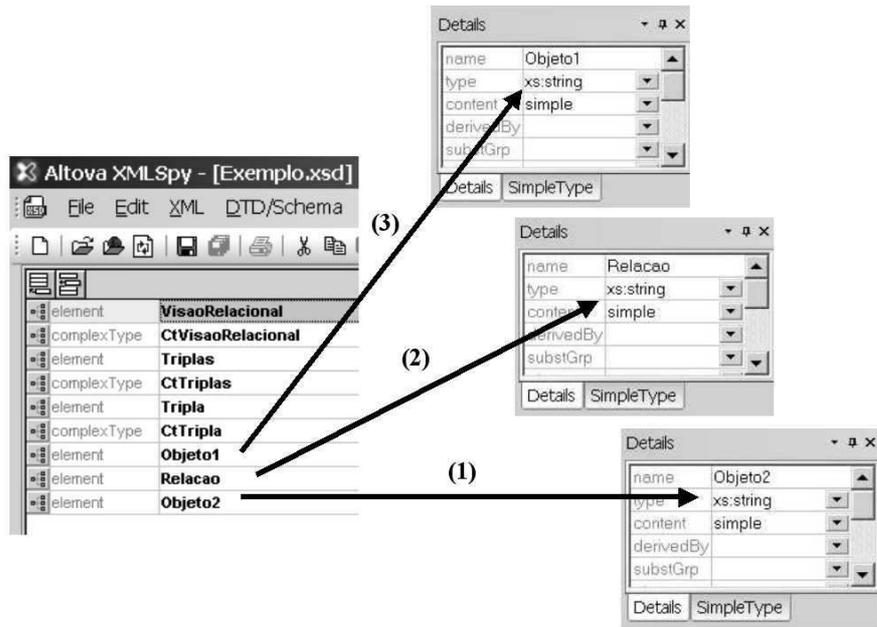


Figura 68: Elaboração de um Arquivo *XML-Schema* (Etapas 1, 2, e 3)

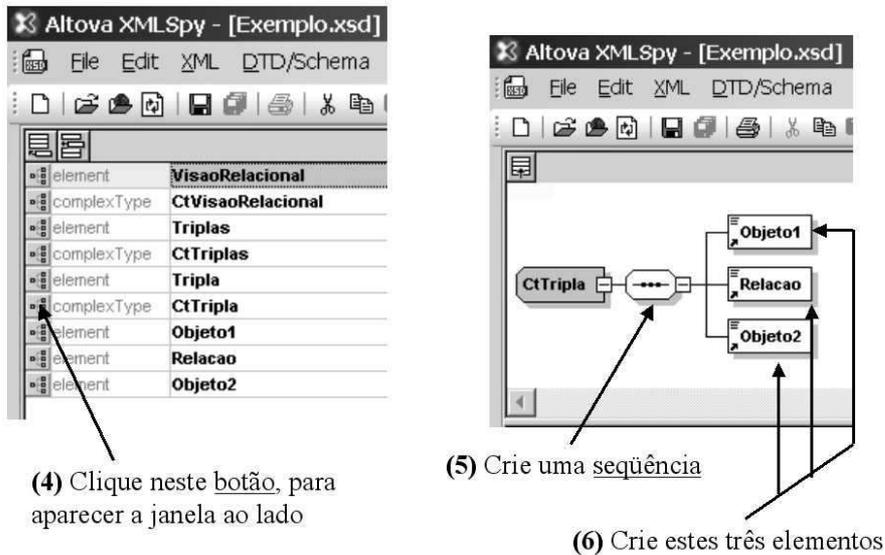


Figura 69: Elaboração de um Arquivo *XML-Schema* (Etapas 4, 5, e 6)

As etapas referentes às figuras 68 a 74 são interpretadas da seguinte forma:

- **Etapas 1, 2, e 3:** define-se o tipo *string* para cada um dos elementos (*Objeto1*, *Relacao*, e *Objeto2*). Desta forma, estes elementos podem receber *dados* do tipo *string* quando for especificado um arquivo XML que seja validado por este XML-Schema;
- **Etapas 4, 5, e 6:** estas etapas mostram como definir o tipo complexo *CtTripla*. Portanto, observe-se que ao clicar no botão referente ao item 4 aparece uma janela um pouco diferente. Esta janela inicialmente só aparece o elemento *CtTripla*. Deve-se então, clicar com o botão direito do mouse neste elemento e selecionar a partir de um menu flutuante a opção *Insert -> Sequence*. Assim, a partir desta seqüência pode-se definir os elementos (*Objeto1*, *Relacao*, *Objeto2*). Mas para isso, deve-se clicar com o botão direito do mouse em seqüência selecionar no menu flutuante *Insert -> Element*, para então digitar *Objeto1*⁴, logo após *Relacao*, e por último *Objeto2*.

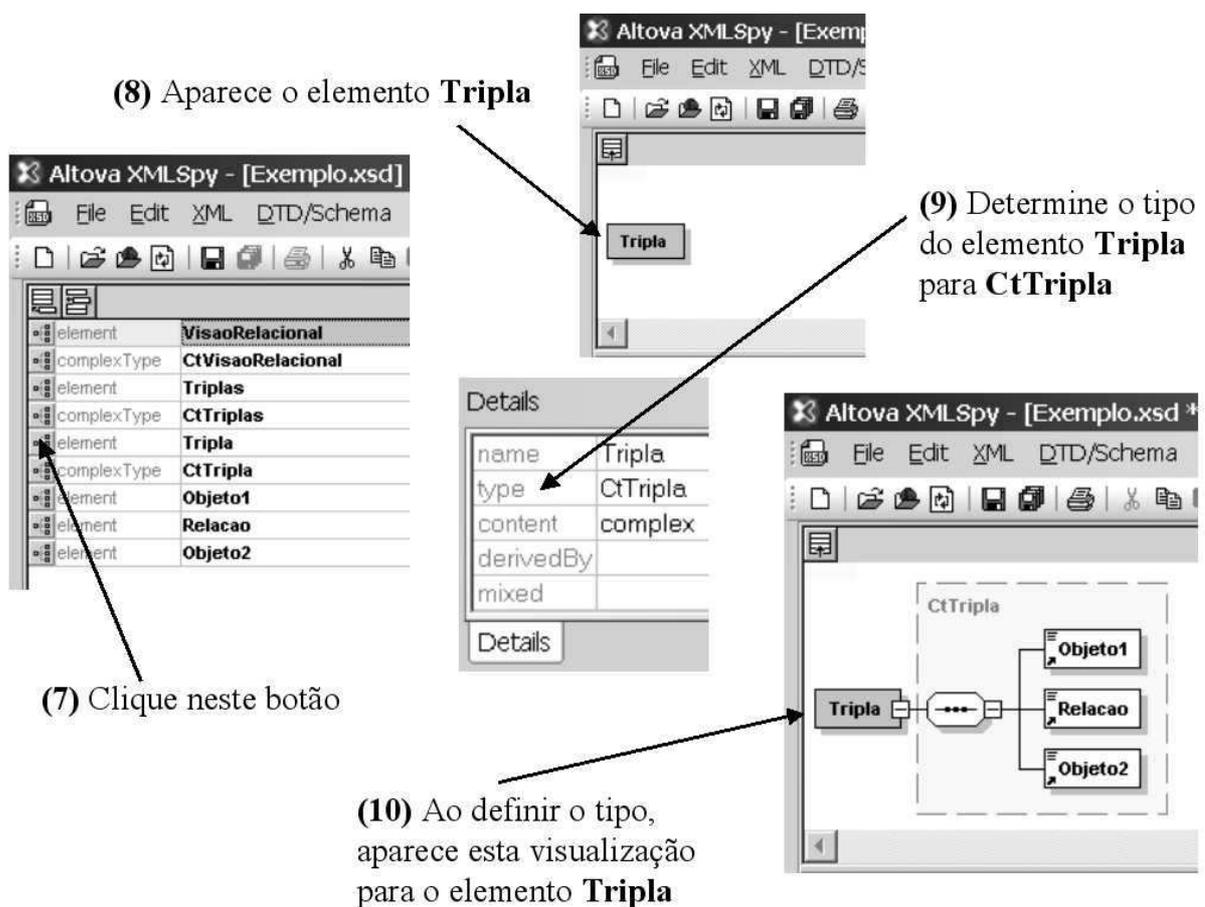
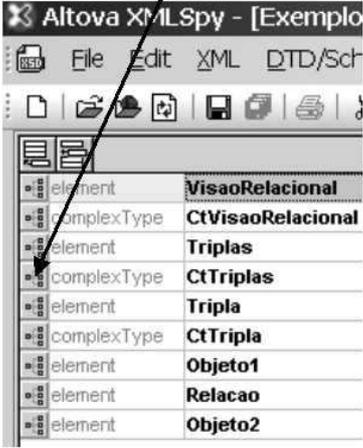


Figura 70: Elaboração de um Arquivo XML-Schema (Etapas 7, 8, 9, e 10)

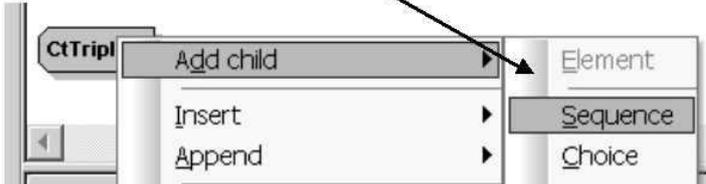
⁴O ambiente altova, por sua vez, pergunta se este e os outros dois elementos são globais. Deve-se responder sim. Pois, foi considerado que todos os elementos no XML-Schema para este exemplo seriam globais, e não local ao bloco *CtTripla* que está sendo definido.

- **Etapas 7, 8, 9, e 10:** a representação destas etapas na figura 70 mostra-se auto-explicativa, para isso, basta seguir a *descrição* referente a cada etapa. Ao finalizar este processo, tem-se o elemento *Tripla* como sendo do tipo *CtTripla*.
- **Etapas 11, 12, 13, 14, e 15:** estas etapas estão representadas na figura 71, que mostra passo-a-passo como definir o tipo complexo *CtTriplas*.

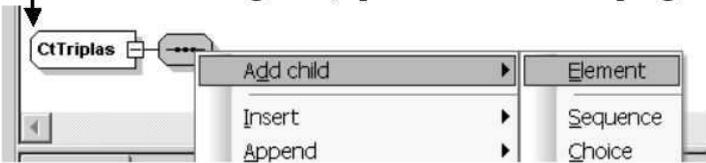
(11) Clique neste botão



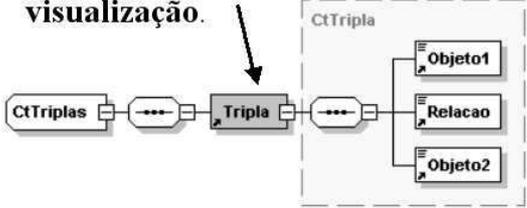
(12) Aparece **CtTriplas**, clique com o botão direito do mouse, e selecione *Sequence*.



(13) Clique em *Sequence* (botão direito – mouse), selecione *Element*, digite *Tripla* e pressione enter, e defina-o como global, quando o ambiente perguntar.



(14) Aparece esta visualização.



(15) Defina Cardinalidade.

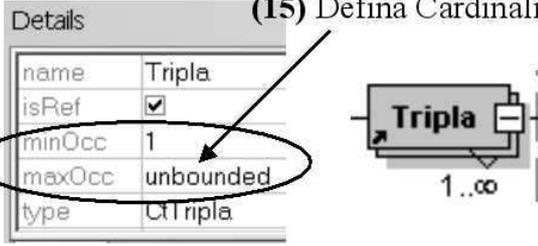


Figura 71: Elaboração de um Arquivo *XML-Schema* (Etapas 11, 12, 13, 14, e 15)

- **Etapas 16, 17, 18, e 19:** estas etapas são responsáveis pela definição do elemento *tiplas*. Portanto, como as demais etapas anteriores, basta seguir a descrição pela numeração de cada etapa assim como apresentado na figura 72, para entender o processo resultante.

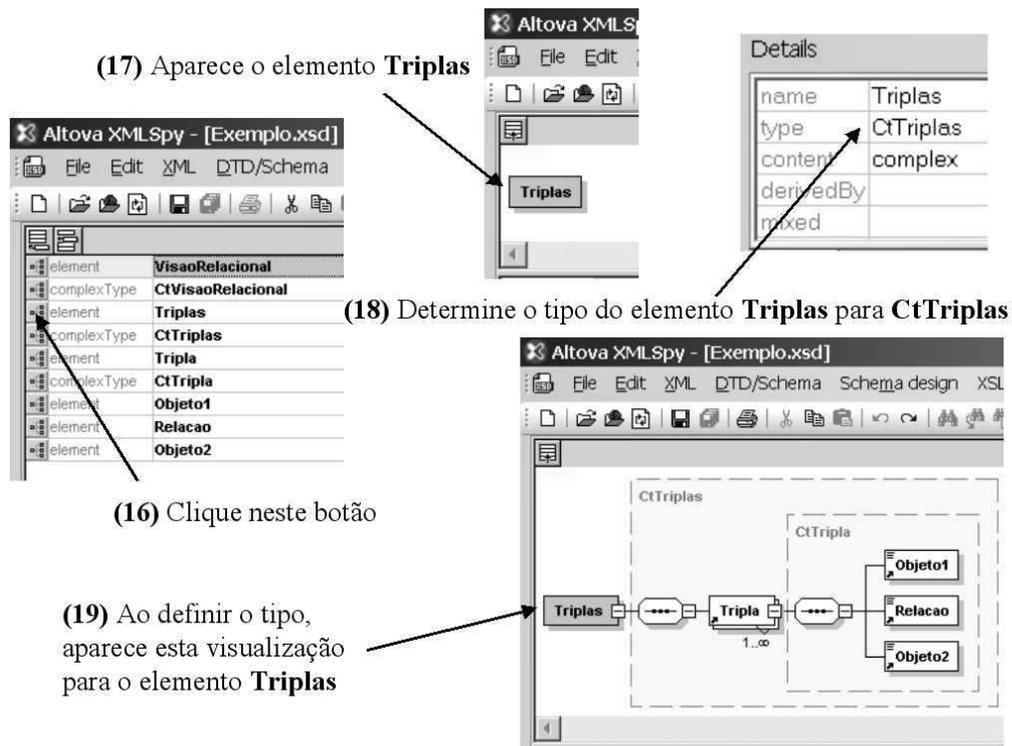


Figura 72: Elaboração de um Arquivo *XML-Schema* (Etapas 16, 17, 18, e 19)

- **Etapas 20, 21, e 22:** resta agora definir apenas mais um tipo complexo, ou seja, *CtVisaoRelacional*. A partir deste ponto, não é mais necessário mostrar todos as etapas para tal êxito. Assim, mostra-se de forma resumida na figura 73 como é realizada a definição do tipo complexo *CtVisaoRelacional*.

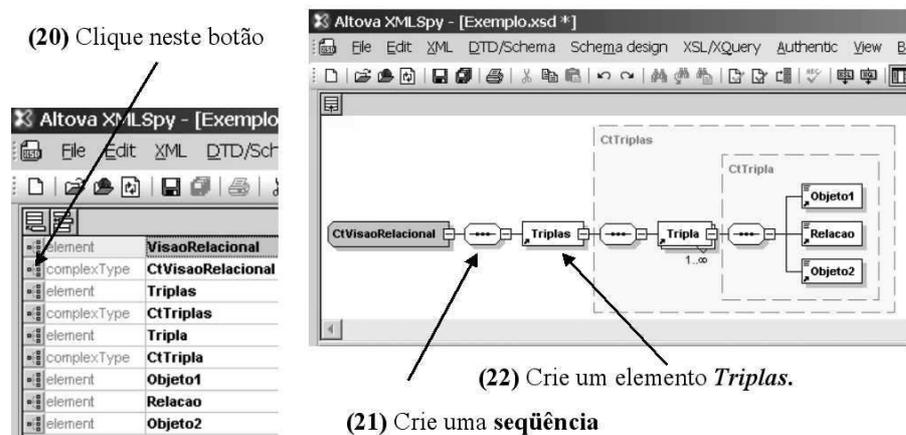


Figura 73: Elaboração de um Arquivo *XML-Schema* (Etapas 20, 21, e 22)

- **Etapas 23, 24, e 25:** o último passo para concluir o processo de definição do arquivo *XML-Schema* é a definição do *elemento-raiz* *VisaoRelacional*. Portanto, similarmente ao que já foi apresentado, mas de forma resumida é apresentado na figura 74 como definir este elemento.

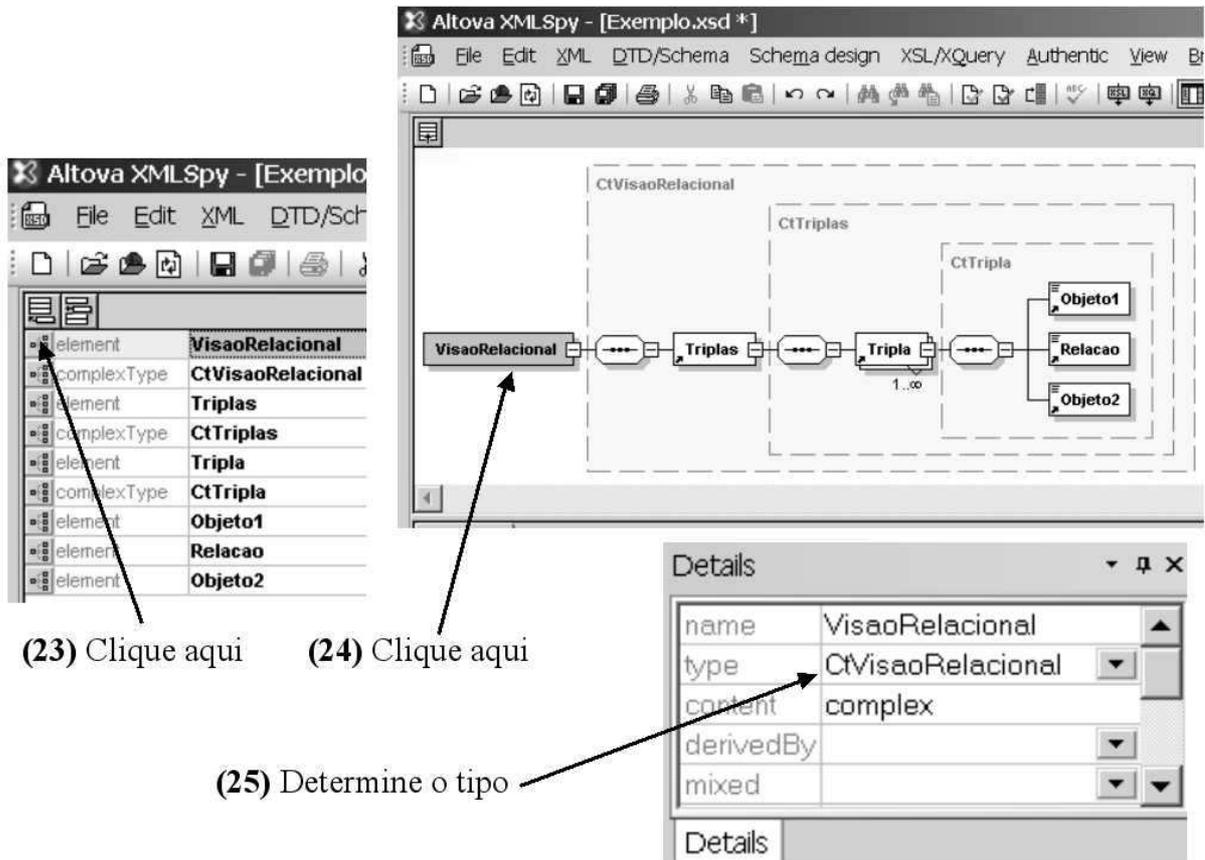


Figura 74: Elaboração de um Arquivo *XML-Schema* (Etapas 23, 24, e 25)

Após a modelagem gráfica que foi realizada no ambiente Altova, obtém-se o código *XML-Schema* resultante representado pela figura 75. Nesta figura pode-se observar que foi introduzida uma numeração para melhor esclarecer este código em relação à modelagem que foi realizada. Deixa-se claro, que não é a intenção deste documento ser exaustivo em explicar a sintaxe de arquivos *XML-Schema*, maiores detalhes sobre a sintaxe obtém-se em (W3SCHOOLS, 2005a). Portanto, a partir da numeração definida na figura 75, pode-se esclarecer resumidamente este código com segue:

- **Os itens 1 e 2:** definem o cabeçalho do arquivo.
- **O item 3:** define a especificação para o *elemento-raiz* de um possível arquivo XML que utilize este *XML-Schema* para ser validado. Este elemento é *VisaoRelacional*, que é do tipo *CtVisaoRelacional* (observe a figura 74 para poder visualizar graficamente o elemento *VisaoRelacional*).

- **O item 4:** define o tipo complexo *CtVisaoRelacional* que foi especificado graficamente na figura 73. Nesta especificação gráfica, observa-se que foi criada uma *seqüência* e logo após um *elemento Triplas*, e é justamente o que foi representado no código da figura 75.
- **O item 5:** define um *elemento* cujo nome é *Triplas* e seu tipo é *CtTriplas* (observe que a especificação deste trecho de código foi definida na figura 72).
- **O item 6:** define o tipo complexo *CtTriplas* que foi especificado na figura 71. Nesta especificação gráfica foi criada uma *seqüência* e também um *elemento Tripla*, e neste foi definida uma *cardinalidade* (de um a infinito).

The screenshot shows the Altova XMLSpy interface with the following XML Schema code:

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
- <xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
  elementFormDefault="qualified" attributeFormDefault="unqualified">
  <xs:element name="VisaoRelacional" type="CtVisaoRelacional" />
- <xs:complexType name="CtVisaoRelacional">
  - <xs:sequence>
    <xs:element ref="Triplas" />
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="Triplas" type="CtTriplas" />
- <xs:complexType name="CtTriplas">
  - <xs:sequence>
    <xs:element ref="Tripla" maxOccurs="unbounded" />
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="Tripla" type="CtTripla" />
- <xs:complexType name="CtTripla">
  - <xs:sequence>
    <xs:element ref="Objeto1" />
    <xs:element ref="Relacao" />
    <xs:element ref="Objeto2" />
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="Objeto1" type="xs:string" />
<xs:element name="Relacao" type="xs:string" />
<xs:element name="Objeto2" type="xs:string" />
</xs:schema>

```

Numbered callouts (1-12) point to the following lines in the code:

- 1: Line 1 (XML declaration)
- 2: Line 2 (Schema root)
- 3: Line 3 (Element declaration)
- 4: Line 4 (Complex type start)
- 5: Line 5 (Sequence start)
- 6: Line 6 (Element reference)
- 7: Line 7 (Sequence end)
- 8: Line 8 (Complex type end)
- 9: Line 9 (Element declaration)
- 10: Line 10 (Complex type start)
- 11: Line 11 (Sequence start)
- 12: Line 12 (Element reference)

Figura 75: XML-Schema Exemplo - resultante da modelagem realizada no Ambiente Altova

- **O item 7:** define um *elemento* cujo nome é *Tripla*, e seu tipo é *CtTripla* (especificação gráfica na figura 70).
- **O item 8:** define o tipo complexo *CtTripla* que foi especificado na figura 69. Nesta especificação gráfica, foi criada uma *seqüência* e três *elementos*: *Objeto1*, *Relacao*, *Objeto2*.
- **O item 9, 10, e 11:** definem os elementos *Objeto1*, *Relacao*, e *Objeto2* como sendo do tipo *string*.

- **O item 12:** fecha a *tag* referente a *xs:schema* que foi aberta no item 2 do cabeçalho deste arquivo.

Como apresentado, o arquivo *XML-Schema* está pronto! Portanto, o que deve ser feito para elaborar um arquivo XML neste mesmo ambiente? Para isso, basta criar um arquivo novo, escolher o tipo *XML document* e indicar onde está gravado o arquivo *XML-Schema*. Assim, o ambiente está pronto para validar um arquivo XML e indicar possíveis falhas de sintaxe na elaboração (digitação no ambiente *altova*) do mesmo.

Por outro lado, uma outra vantagem de se ter um arquivo *XML-Schema* é que este arquivo pode ser usado em uma compilação para gerar uma API⁵ java personalizada, onde é possível manipular o XML correspondente, que será validado pelo respectivo *XML-Schema* que foi usado pelo processo de compilação.

A.3. COMO GERAR UMA API JAVA A PARTIR DO XML-SCHEMA?

Existem várias alternativas de APIs para integrar aplicações Java com XML (FEDERIZZI, 2006) (SUN, 2006b), uma alternativa tradicional é JAXP (*Java API for XML Processing*), que disponibiliza duas APIs padrão para manipular (interpretar, gerar, extrair dados e tratar eventos) arquivos XML. Estas APIs são DOM (*Document Object Model*) e SAX (*Simple API for XML*). DOM monta uma estrutura hierárquica de objetos na memória, em forma de árvore, que permite a navegação na estrutura do documento. SAX é mais simples do que DOM, oferece métodos que respondem a eventos produzidos durante a leitura do documento.

Com estas duas abordagens, programadores deparam-se com alguns problemas: necessidade de escrever linhas de código de programas para entender e converter os dados em classes que representem o XML; criação de mecanismos de Validação coerentes com o *XML-Schema* ou DTD do XML; além de ter que mudar o código a cada vez que se alterar as regras de validação do XML.

Desta forma, o desejo do programador é ter disponível para uso uma API que faça todo esse trabalho pesado de forma automática, ou seja: escrever as classes Java correspondentes a cada documento XML; converter os documentos XML em objetos que podem ser manipulados dentro do programa; mapear cada TAG XML em um atributo de objeto e colocar seu conteúdo como valor de atributo; e prover um método para formar tudo isso em cada classe Java.

Portanto, como proposta para solucionar estes problemas têm-se JAXB (*Java Architecture for XML Binding*) (SUN, 2006b) (ORT; MEHTA, 2003), que será mostrado logo a seguir na próxima seção. Para este fim, pretende-se dar uma visão geral desta arquitetura, como também explicar o processo para se obter estas facilidades mencionadas no parágrafo anterior.

⁵Application Programming Interface (ou Interface de Programação de Aplicativos)

A.3.1. JAVA ARCHITECTURE FOR XML BINDING (JAXB)

JAXB (Java Architecture for XML Binding) é uma proposta da (SUN, 2006a) para fornecer uma maneira conveniente em ligar um *XML-Schema* a uma representação no código Java. Com isso, desenvolvedores ganham uma eficiente forma padrão de mapeamento entre XML e código java. Além, de serem mais produtivos, porque eles podem escrever menos código na linguagem java, e por outro lado, estes desenvolvedores não têm que serem peritos em XML.

O processo envolvido por esta arquitetura é basicamente composto por três etapas (figura 76):

1. **Binding Compiler** - neste etapa deve-se fornecer um arquivo *XML-Schema* para ser compilado. Ao término da compilação é gerado um conjunto de *classes* java que representam o *schema*. Portanto, após a compilação dispomos de uma API JAXB personalizada para uso em uma aplicação java, onde pode-se instanciar estas classes para **ler** e **escrever** em arquivos XML que são validados pelo *schema* que foi fornecido para ser compilado.
2. **Marshal** - este processo converte objetos em XML. Ou seja, em uma aplicação java deseja-se **gravar** um arquivo XML a partir de uma API JAXB, então esta API realiza um mapeamento de uma hierarquia de objetos para um documento XML de acordo com o *schema* validado por esta API.
3. **Unmarshal** - este processo converte XML em objetos. Ou seja, em uma aplicação java deseja-se **ler** um arquivo XML a partir de uma API JAXB, então esta API realiza um mapeamento do documento XML em uma hierarquia de Objetos de acordo com o *schema* validado por esta API. Os objetos mapeados podem então serem manipulados dentro da aplicação java.

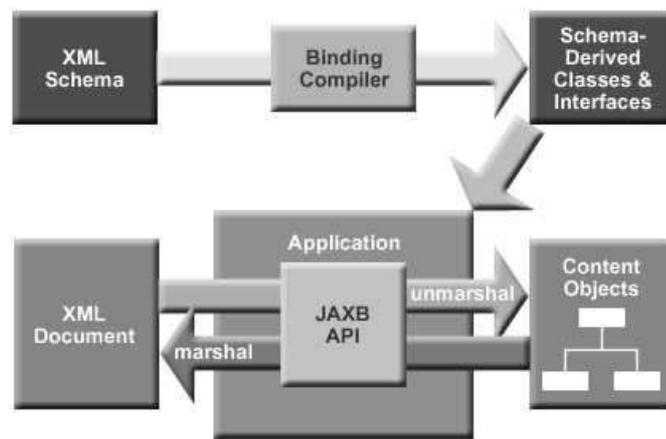


Figura 76: Java Architecture for XML Binding (JAXB) (ORT; MEHTA, 2003)

A.3.2. UM EXEMPLO PRÁTICO

Para poder utilizar as facilidades fornecidas por uma API JAXB personalizada, é necessário instalar o compilador JAXB. A implementação de referência está disponível no pacote *Java Web Services Developer Pack* (WSDP) em (<http://java.sun.com/webservices/>) e a especificação está disponível em: (<http://java.sun.com/xml/downloads/jaxb.html>). Portanto, para realizar os testes necessários neste trabalho foi instalado o pacote "*Web Services Developer Pack 1.5*" (figura 77), que tornou disponível para uso a versão JAXB 1.0.4 no diretório (`c:/Sun/jwsdp-1.5/jaxb`).

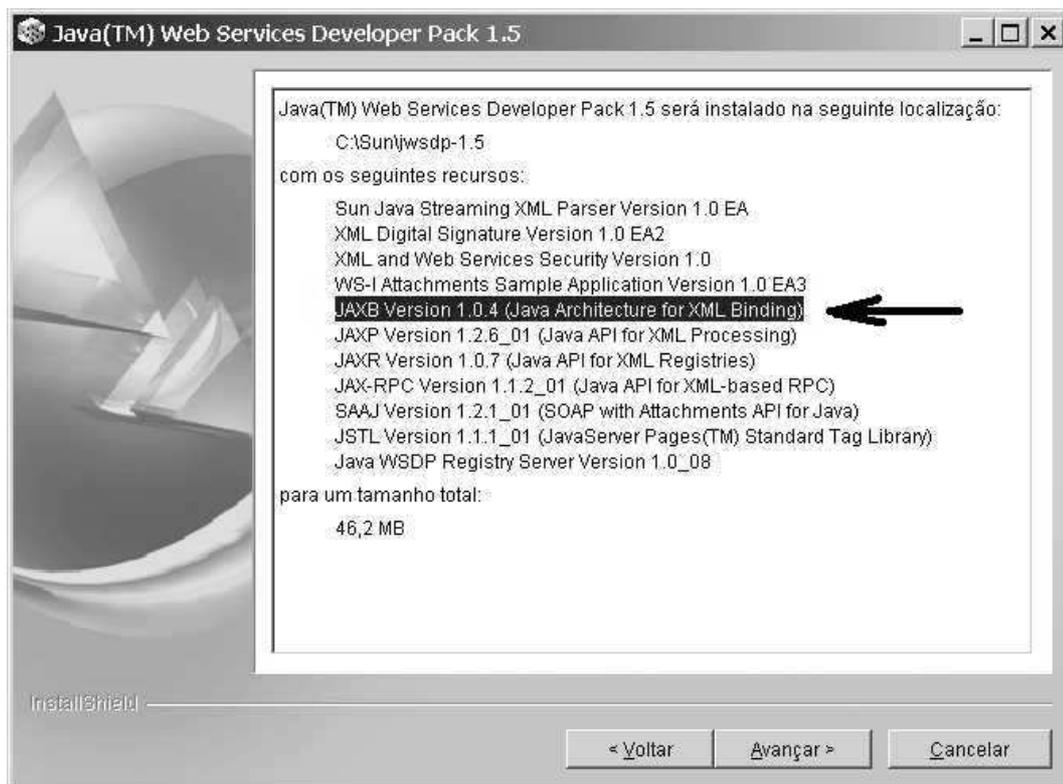
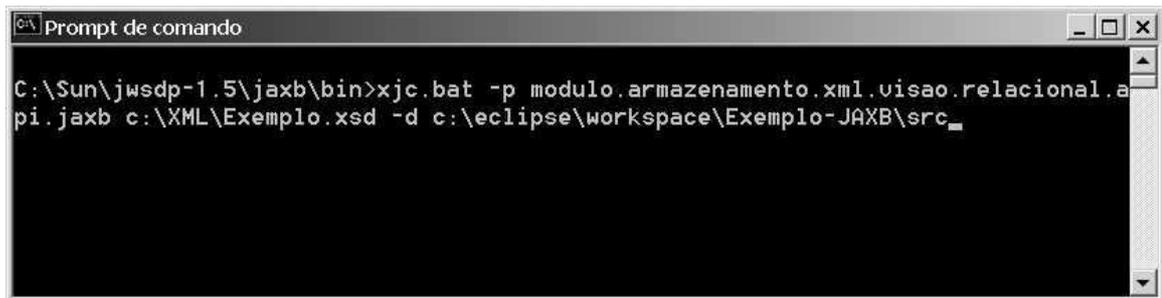


Figura 77: Web Services Developer Pack 1.5

Desta forma, com esta versão, torna-se possível compilar um arquivo *XML-Schema* utilizando o arquivo *xjc.bat* que está localizado no diretório (`c:/sun/jwsdp-1.5/jaxb/bin/`). Assim, para realizar o processo de compilação de um arquivo *XML-Schema*, é necessário utilizar uma *linha de comando* passando o arquivo *schema* que deseja ser compilado, como também o local e o pacote onde o resultado desta compilação será armazenado. Por exemplo, observe a figura 78 e veja que o arquivo `c:/XML/Exemplo.xsd` (código representado na figura 75) está sendo compilado, como descrito a seguir:

- *xjc.bat* - compilador JAXB;
- *-p modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.api.jaxb* - pacote que será gerado após a compilação, e onde será armazenado o resultado da compilação;

- *c:/XML/Exemplo.xsd* - arquivo *XML-Schema* que será usado para gerar a api personalizada jaxb que será armazenada no pacote mencionado acima;
- *-d c:/eclipse/workspace/Exemplo-JAXB/src* - diretório onde será armazenado o pacote que será gerado.



```

C:\Sun\jwsdp-1.5\jaxb\bin>xjc.bat -p modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.a
pi.jaxb c:\XML\Exemplo.xsd -d c:\eclipse\workspace\Exemplo-JAXB\src
  
```

Figura 78: Exemplo de Linha de comando para compilar um Arquivo XML-Schema

Após a execução desta linha de comando têm-se disponível uma API java para mapeamento de dados armazenados em arquivos XML em objetos java, e vice-versa. Portanto, basta agora saber como utilizar esta API que foi gerada para este exemplo⁶. Desta forma, deve-se utilizar um ambiente onde seja possível ser digitado o código java para este êxito. Sendo assim, foi escolhido o ambiente eclipse⁷ em conjunto com o jdk⁸ para tornar tal fato realidade.

Para que seja possível tornar disponíveis as funcionalidades contidas na API que foi gerada de forma automática, é necessário adicionar alguns pacotes ao código java do projeto que será realizado. Estes pacotes estão disponíveis na versão *web service* que foi apresentada anteriormente. Para tanto, é necessário copiar estes pacotes para o diretório (C:/eclipse/workspace/Exemplo-JAXB/lib) e configurar para que estes sejam visíveis pelo projeto que está sendo realizado no ambiente eclipse.

Portanto, os pacotes que devem ser copiados para o diretório (C:/eclipse/workspace/Exemplo-JAXB/lib) são os quatro pacotes (jaxb-api.jar; jaxb-impl.jar; jaxb-libs.jar; jaxb-xjc.jar) que estão no diretório (C:/Sun/jwsdp-1.5/jaxb/lib), e os dois pacotes (relaxngDatatype.jar; xsdlib.jar) que estão disponíveis no diretório (C:/Sun/jwsdp-1.5/jwsdp-shared/lib).

⁶Informação adicional sobre a Arquitetura JAXB e exemplos de casos de uso pode-se ser encontrado no tutorial disponibilizado pela (SUN, 2005), que encontra-se disponível em (<http://java.sun.com/webservices/docs/1.6/tutorial/doc/>).

⁷O ambiente eclipse está disponível em <http://java.sun.com/j2se/1.5.0/download.jsp>

⁸O jdk está disponível em <http://java.sun.com/j2se/1.5.0/download.jsp>

Desta breve explicação pode-se observar o resultado apresentado pelos *pacotes* que foram adicionados (manualmente, e de forma automática) a este projeto pela exibição mostrada no ambiente eclipse (figura 79), como também a configuração para as Bibliotecas externas utilizadas no referido Projeto.

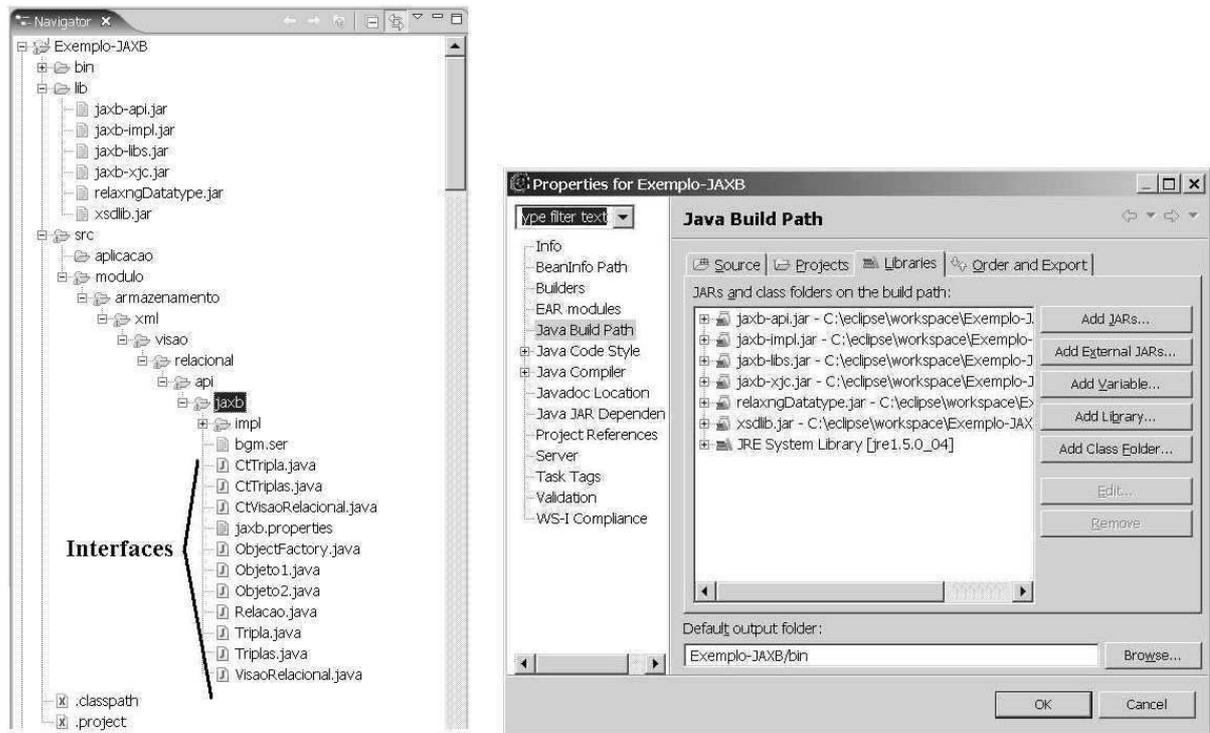


Figura 79: Visualização Parcial do Projeto Exemplo pelo Ambiente Eclipse

Como resultado da compilação do arquivo *XML-Schema* (Exemplo.xsd) pôde-se obter o pacote (api.jaxb.modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.api.jaxb), e neste ter armazenado interfaces e classes java que representam o XML ao qual deseja-se manipular. Por outro lado, uma observação merece ser acrescentada, ou seja, que existe uma relação direta com os nomes que foram gerados de forma automática para as *interfaces* java com os *tipos complexos* e os *elementos* que foram definidos no *XML-Schema* do exemplo da figura 75. Esta relação é mostrada na figura 80, que apresenta uma visão gráfica do XML-Schema, com seu respectivo código, como também, os nomes das interfaces java que foram geradas de forma automática pelo compilador JAXB.

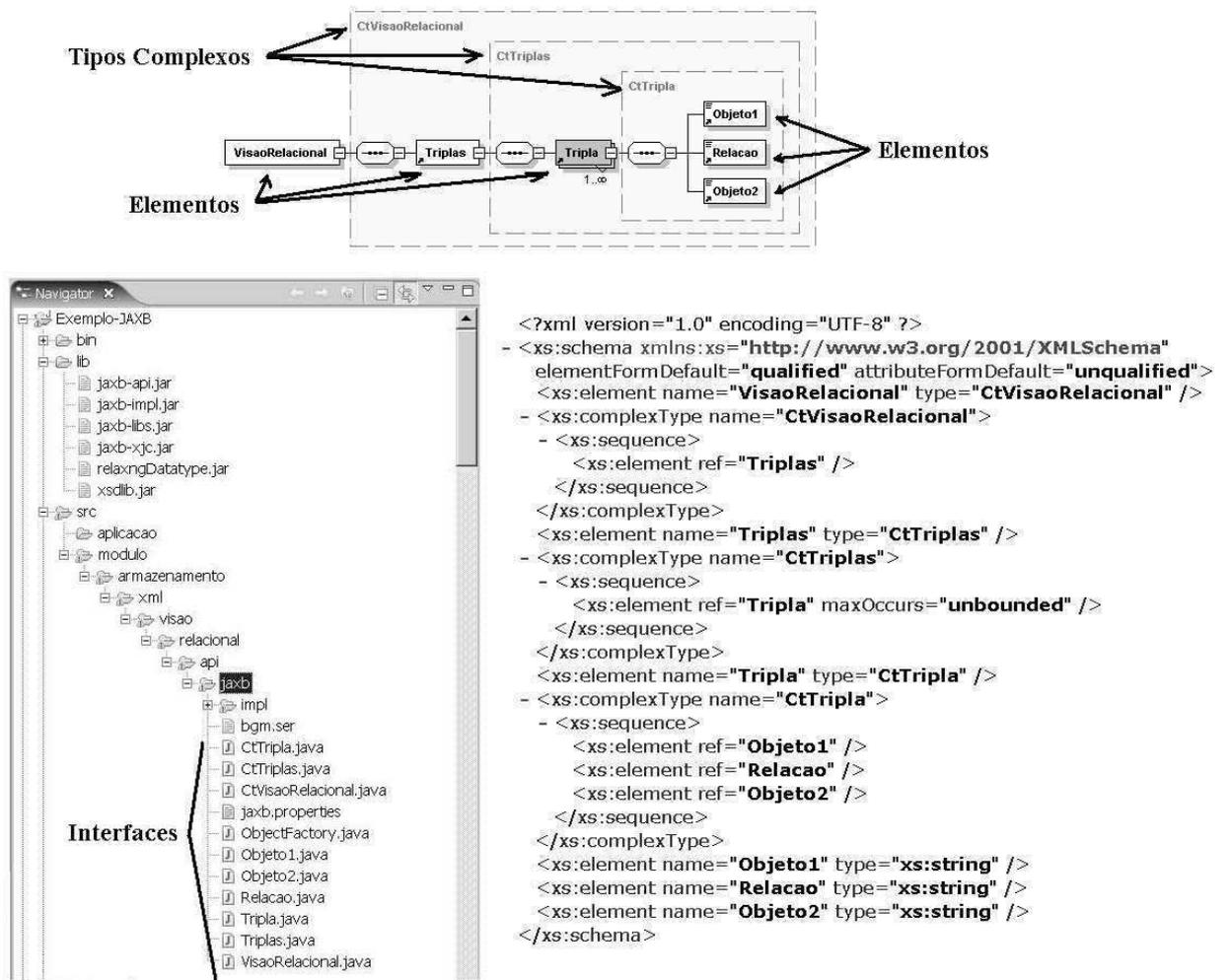


Figura 80: Relação Existente entre o XML-Schema com as Interfaces Java

Resumidamente observa-se na figura 80 que os nomes das *interfaces* que foram geradas de forma automática tem exatamente os nomes dos *elementos* e *tipos complexos* que foram definidos no exemplo do *XML-Schema* correspondente. A seguir descreve-se brevemente estes arquivos que foram gerados⁹:

- **ObjectFactory.java** - este arquivo representa uma classe, onde o próprio nome já diz que é uma *fábrica de objetos*, que provê métodos (figura 81) para criar objetos java que estão relacionados ao conteúdo XML em uma representação em árvore de objetos java. Ou em outras palavras, pode-se dizer que *ObjectFactory* fornece métodos para fabricar instâncias de interfaces java (descritas nos ítems posteriores) que representam conteúdo XML em árvore de conteúdo java.

⁹Exemplo descrito de forma similar, que utiliza outro arquivo *XML-Schema* encontra-se disponível em <http://java.sun.com/webservices/docs/1.6/tutorial/doc/JAXBUsing2.html>

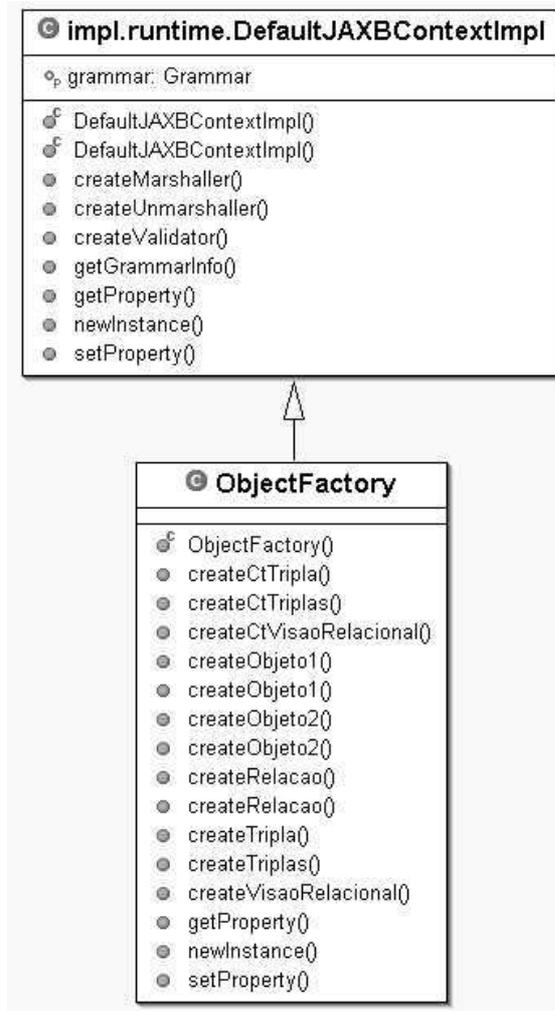


Figura 81: Classe *ObjectFactory* gerada pela Compilação do Arquivo *Exemplo.xsd*

- **Objeto1.java** - interface que estende *javax.xml.bind.Element*. Esta interface tem dois métodos *getValue()* e *setValue(String value)* que são usados para obter e atribuir *strings* representando *elementos Objeto1* do XML em árvore de conteúdo java;
- **Relacao.java** - interface que estende *javax.xml.bind.Element*. Esta interface tem dois métodos *getValue()* e *setValue(String value)* que são usados para obter e atribuir *strings* representando *elementos Relacao* do XML em árvore de conteúdo java;
- **Objeto2.java** - interface que estende *javax.xml.bind.Element*. Esta interface tem dois métodos *getValue()* e *setValue(String value)* que são usados para obter e atribuir *strings* representando *elementos Objeto2* do XML em árvore de conteúdo java;

- **CtTripla.java** - interface que representa o *tipo complexo CtTripla* do respectivo arquivo *XML-Schema*. Esta interface contém seis métodos para obter e atribuir *strings* aos respectivos *elementos* que fazem parte deste tipo complexo. Os métodos desta interface são: **getObjeto1()**; **setObjeto1(String value)**; **getRelacao()**; **setRelacao(String value)**; **getObjeto2()**; **setObjeto2(String value)**.
- **Tripla.java** - interface que estende (*javax.xml.bind.Element*) e também estende (*api.jaxb.modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.CtTripla*). *Esta interface não tem nenhum método*. Vale a pena lembrar que no arquivo *XML-Schema* (figura 80) o *elemento Tripla* que foi especificado é do *tipo CtTripla*, que foi explicado no item anterior (arquivo *CtTripla.java*).
- **CtTriplas.java** - observe que na representação gráfica do *XML-Schema* da figura 80 tem-se que o *elemento Triplas* é do *tipo CtTriplas*, e que o *elemento Triplas* tem uma *seqüência*, e nesta existe o *elemento Tripla* que tem cardinalidade de um a infinito, ou seja, com esta explicação mostra que o *elemento Triplas* representado no XML por duas *tags* (uma inicial e outra final) pode ter internamente várias *tags* de *elementos Tripla* (de um a infinito). Portanto, na compilação que foi realizada para gerar esta api só é criado método *get* para esta interface, como segue: **java.util.List getTripla()**. Ficando a cargo do programador implementar como os *elementos Tripla* devam ser atribuídos a esta lista (*java.util.List*) e posteriormente ao XML.
- **Triplas.java** - interface que estende (*javax.xml.bind.Element*) e também estende (*api.jaxb.modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.CtTriplas*). *Esta interface não tem nenhum método*. Com visto anteriormente, sabe-se que no arquivo *XML-Schema* (figura 80) o *elemento Triplas* que foi especificado é do *tipo CtTriplas*, que foi explicado no item anterior (arquivo *CtTriplas.java*).
- **CtVisaoRelacional.java** - interface que representa o *tipo complexo CtVisaoRelacional* do respectivo *XML-Schema*. Nesta interface existem dois métodos: **getTriplas()** que retorna um *CtTriplas*, e **setTriplas(CtTriplas value)** que atribui um *CtTriplas*.
- **VisaoRelacional.java** - interface que estende (*javax.xml.bind.Element*) e também estende (*api.jaxb.modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.CtVisaoRelacional*). *Esta interface não tem nenhum método*.

Portanto, desta breve explicação inicial, observa-se que os nomes dos arquivos gerados para as interfaces que servem de acesso para a api que foi gerada é exclusivamente determinado pelo processo de compilação JAXB, conforme especificação existente no arquivo *XML-Schema* que foi fornecido.

Desta forma, a partir da utilização desta api, o programador pode então criar uma *aplicação* que possa *ler e escrever* em um arquivo XML. Para isso, basta implementar mais algumas classes para solucionar este problema (figura 82).

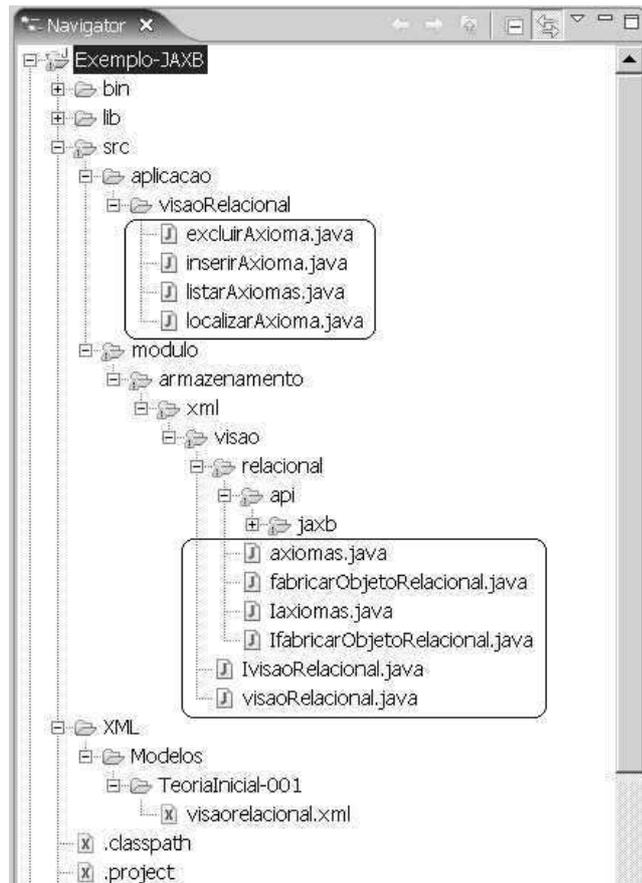


Figura 82: Classes e Interfaces Java Implementadas neste Exemplo

Sendo assim, conforme apresentado na figura 82, observa-se que foram adicionadas algumas interfaces e classes para este projeto como descritas a seguir:

- No pacote *modulo.armazenamento.xml.visao.relacional* foram criadas duas interfaces (*IfabricarObjetoRelacional.java*; *Iaxiomas.java*) e também duas classes (*fabricarObjetoRelacional.java*; *axiomas.java*) que implementam estas interfaces (figura 83).

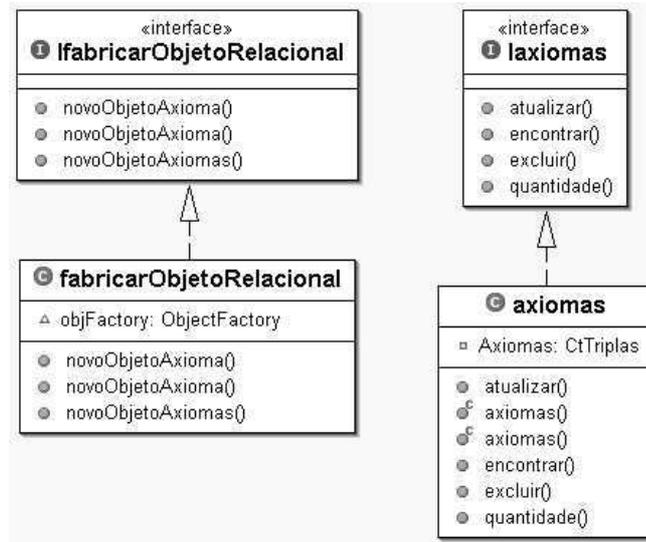


Figura 83: Interfaces e Classes do Exemplo (Diagrama 1 de 2)

- No pacote *modulo.armazenamento.xml.visao* foi elaborado uma interface (IvisaoRelacional.java) e uma classe (visaoRelacional.java) que a implementa (figura 83).

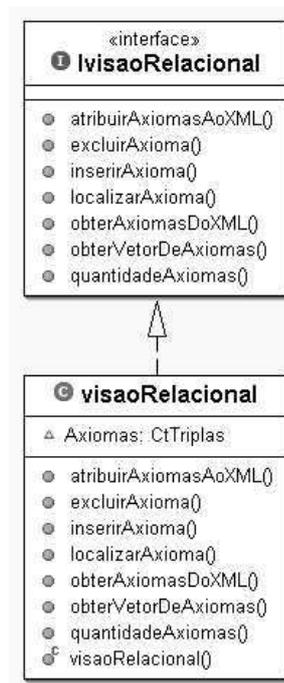


Figura 84: Interfaces e Classes do Exemplo (Diagrama 2 de 2))

- No pacote *aplicacao.visaoRelacional* foram elaboradas quatro classes (inserirAxioma.java; excluirAxioma.java; localizarAxioma.java; e listarAxiomas.java) para poder inserir, excluir, localizar, e listar o conteúdo de um arquivo XML por intermédio da api jaxb que foi disponibilizada.

Para entender como foram implementadas estas interfaces e classes que foram sugeridas para manipular a api JAXB, pode-se conferir o código resultante como especificado logo a seguir. Informação adicional como já mencionado anteriormente pode ser obtida no tutorial disponibilizado pela (SUN, 2005).

O leitor atento, deve ter observado que ao ser definido um arquivo *XML-Schema* o que esta se fazendo na verdade é a especificação de uma gramática para uma linguagem que represente uma especificação XML. E que ao ser realizado o processo de compilação do arquivo *XML-Schema* é realizado a concretização de um mapeamento da respectiva gramática em um contexto para uma representação orientada a objetos, disponibilizando assim, uma API JAXB personalizada para uso do programador que necessite manipular arquivos XML de uma forma mais agradável que as outras abordagens tradicionais como SAX e DOM.

Arquivo: inserirAxioma.java

```

package aplicacao.visaoRelacional;

import java.io.File;
import java.io.FileNotFoundException;
import javax.xml.bind.JAXBException;
import modulo.armazenamento.xml.visao.*;

public class inserirAxioma {

    public static void main(String[] args) throws JAXBException, FileNotFoundException {

        IvisaoRelacional visaoRelacional = (IvisaoRelacional) new visaoRelacional();
        String Objeto1;
        String Relacao;
        String Objeto2;
        String nomeArquivo;
        String modeloTeoria;

        modeloTeoria = "Modelos/TeoriaInicial-001";
        nomeArquivo = "visaorelacional.xml";

        // --- Axioma que será INSERIDO no arquivo "visaorelacional.xml". -----
        Objeto1 = "Gepeto";
        Relacao = "gosta-de";
        Objeto2 = "Pinoquio";
        // -----

        File diretorio = new File("xml/" + modeloTeoria);

        if (diretorio.exists() != true) diretorio.mkdir();

        File arquivo = new File("xml/" + modeloTeoria + "/" + nomeArquivo);

        if (arquivo.exists() == true) visaoRelacional.obterAxiomasDoXML(modeloTeoria + "/" + nomeArquivo);

        visaoRelacional.inserirAxioma(Objeto1, Relacao, Objeto2);

        visaoRelacional.atribuirAxiomasAoXML(modeloTeoria + "/" + nomeArquivo);

        System.out.println("Quantidade de Axiomas:" + visaoRelacional.quantidadeAxiomas());

    }
}

```

Arquivo: excluirAxioma.java

```

package aplicacao.visaoRelacional;

import java.io.File;
import java.io.FileNotFoundException;
import javax.xml.bind.JAXBException;
import modulo.armazenamento.xml.visao.*;

public class excluirAxioma {

    public static void main(String[] args) throws JAXBException, FileNotFoundException {

        IvisaoRelacional visaoRelacional = (IvisaoRelacional) new visaoRelacional();
        String Objeto1;
        String Relacao;
        String Objeto2;
        String nomeArquivo;
        String modeloTeoria;

        modeloTeoria = "Modelos/TeoriaInicial-001";
        nomeArquivo = "visaorelacional.xml";

        // --- Axioma que será EXCLUÍDO no arquivo "visaorelacional.xml" ----
        Objeto1 = "Gepeto";
        Relacao = "gosta-de";
        Objeto2 = "Pinoquio";
        // -----

        File arquivo = new File("xml/" + modeloTeoria + "/" + nomeArquivo);

        if (arquivo.exists() == true) {

            visaoRelacional.obterAxiomasDoXML(modeloTeoria + "/" + nomeArquivo);
            visaoRelacional.excluirAxioma(Objeto1, Relacao, Objeto2);
            visaoRelacional.atribuirAxiomasAoXML(modeloTeoria + "/" + nomeArquivo);
        }
    }
}

```

Arquivo: localizarAxioma.java

```

package aplicacao.visaoRelacional;

import java.io.File;
import java.io.FileNotFoundException;
import javax.xml.bind.JAXBException;
import modulo.armazenamento.xml.visao.*;

public class localizarAxioma {

    public static void main(String[] args) throws JAXBException, FileNotFoundException {

        IvisaoRelacional visaoRelacional = (IvisaoRelacional) new visaoRelacional();
        String Objeto1;
        String Relacao;
        String Objeto2;
        String nomeArquivo;
        String modeloTeoria;
        boolean achou;

        modeloTeoria = "Modelos/TeoriaInicial-001";
        nomeArquivo = "visaorelacional.xml";

        // --- Axioma que será LOCALIZADO no arquivo "visaorelacional.xml" ----
        Objeto1 = "Gepeto";
        Relacao = "gosta-de";
        Objeto2 = "Pinoquio";
        // -----

        File arquivo = new File("xml/" + modeloTeoria + "/" + nomeArquivo);

        if (arquivo.exists() == true)
            visaoRelacional.obterAxiomasDoXML(modeloTeoria + "/" + nomeArquivo);

        achou = visaoRelacional.localizarAxioma(Objeto1, Relacao, Objeto2);

        if (achou == true)
            System.out.println("Este Axioma Existe !");
        else
            System.out.println("Este Axioma NÃO Existe !");
    }
}

```

Arquivo: listarAxiomas.java

```

package aplicacao.visaoRelacional;

import java.io.File;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.util.Iterator;
import java.util.Vector;
import javax.xml.bind.JAXBException;
import modulo.armazenamento.xml.visao.*;
import modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.api.jaxb.*;

public class listarAxiomas {

    public static void main(String[] args) throws JAXBException, FileNotFoundException {

        IvisaoRelacional visaoRelacional = (IvisaoRelacional) new visaoRelacional();
        String nomeArquivo;
        String modeloTeoria;

        modeloTeoria = "Modelos/TeoriaInicial-001";
        nomeArquivo = "visaorelacional.xml";

        File arquivo = new File("xml/" + modeloTeoria + "/" + nomeArquivo);
        if (arquivo.exists() == true)
            visaoRelacional.obterAxiomasDoXML(modeloTeoria + "/" + nomeArquivo);

        Vector v = visaoRelacional.obterVetorDeAxiomas();
        Iterator iter = v.iterator();
        CtTripla axioma_auxiliar;

        while (iter.hasNext()) {

            axioma_auxiliar = (CtTripla) iter.next();

            System.out.print(axioma_auxiliar.getObjeto1() + " ");
            System.out.print(axioma_auxiliar.getRelacao() + " ");
            System.out.println(axioma_auxiliar.getObjeto2());
            System.out.println();

        }

    }
}

```

Arquivo: IvisaoRelacional.java

```
package modulo.armazenamento.xml.visao;

import java.io.FileNotFoundException;
import java.util.Vector;
import javax.xml.bind.JAXBException;

public interface IvisaoRelacional {

    public void obterAxiomasDoXML(String nomeArquivo) throws JAXBException;

    public void inserirAxioma(String Objeto1, String Relacao, String Objeto2)
        throws JAXBException;

    public void excluirAxioma(String Objeto1, String Relacao, String Objeto2)
        throws JAXBException;

    public boolean localizarAxioma(String Objeto1, String Relacao,
        String Objeto2) throws JAXBException;

    public Vector obterVetorDeAxiomas();

    public int quantidadeAxiomas() throws JAXBException;

    public void atribuirAxiomasAoXML(String nomeArquivo) throws JAXBException,
        FileNotFoundException;
}
```

Arquivo: visaoRelacional.java

```

package modulo.armazenamento.xml.visao;

import java.io.File;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.FileOutputStream;
import java.util.Collection;
import java.util.Vector;
import javax.xml.bind.JAXBContext;
import javax.xml.bind.JAXBException;
import javax.xml.bind.Marshaller;
import javax.xml.bind.Unmarshaller;
import javax.xml.bind.Validator;
import modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.*;
import modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.api.jaxb.*;

public class visaoRelacional implements IvisaoRelacional {

    CtTriplas Axiomas;

    public visaoRelacional() throws JAXBException {
        IfabricarObjetoRelacional fabricar = new fabricarObjetoRelacional();
        Axiomas = fabricar.novoObjetoAxiomas();
    }

    public void obterAxiomasDoXML(String nomeArquivo) throws JAXBException {

        JAXBContext jc = JAXBContext.newInstance("modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.api.jaxb");
        Unmarshaller unmarshaller = jc.createUnmarshaller();
        unmarshaller.setValidating(true);

        VisaoRelacional visao_relacional = (VisaoRelacional) unmarshaller.unmarshal(new File("xml/"
            + nomeArquivo));

        Axiomas = visao_relacional.getTriplas();
    }

    public void atribuirAxiomasAoXML(String nomeArquivo) throws JAXBException, FileNotFoundException {

        JAXBContext jc = JAXBContext.newInstance("modulo.armazenamento.xml." + "visao.relacional.api.jaxb");

        Marshaller marshaller = jc.createMarshaller();
        marshaller.setProperty(Marshaller.JAXB_FORMATTED_OUTPUT, new Boolean(true));
        Validator validator = jc.createValidator();

        ObjectFactory objFactory = new ObjectFactory();
        VisaoRelacional visaoRelacional = (VisaoRelacional) objFactory.createVisaoRelacional();
        visaoRelacional.setTriplas(Axiomas);

        System.out.println("Dados Válidos =>" + validator.validate(visaoRelacional));

        marshaller.marshal(visaoRelacional, System.out);
        marshaller.marshal(visaoRelacional, new FileOutputStream("xml/" + nomeArquivo));
        System.out.println("Veja o arquivo: xml/" + nomeArquivo);
    }
}

```

```

public void inserirAxioma(String Objeto1, String Relacao, String Objeto2) throws JAXBException {

    IfabricarObjetoRelacional fabricar = new fabricarObjetoRelacional();
    Iaxiomas axiomas = (Iaxiomas) new axiomas(Axiomas);

    CtTripla axioma = fabricar.novoObjetoAxioma();
    axioma.setObjeto1(Objeto1);
    axioma.setRelacao(Relacao);
    axioma.setObjeto2(Objeto2);
    axiomas.atualizar(axioma);

}

public void excluirAxioma(String Objeto1, String Relacao, String Objeto2) throws JAXBException {

    IfabricarObjetoRelacional fabricar = new fabricarObjetoRelacional();
    Iaxiomas axiomas = (Iaxiomas) new axiomas(Axiomas);

    CtTripla axioma = fabricar.novoObjetoAxioma();
    axioma.setObjeto1(Objeto1);
    axioma.setRelacao(Relacao);
    axioma.setObjeto2(Objeto2);
    axiomas.excluir(axioma);

}

public int quantidadeAxiomas() throws JAXBException {

    Iaxiomas axiomas = (Iaxiomas) new axiomas(Axiomas);
    return axiomas.quantidade();

}

public Vector obterVetorDeAxiomas() {

    Vector v = new Vector(1);
    Collection colecao = Axiomas.getTripla();
    v.addAll(colecao);

    return v;

}

public boolean localizarAxioma(String Objeto1, String Relacao, String Objeto2) throws JAXBException {

    IfabricarObjetoRelacional fabricar = new fabricarObjetoRelacional();
    Iaxiomas axiomas = (Iaxiomas) new axiomas(Axiomas);
    int valor;
    boolean achou;

    CtTripla axioma = fabricar.novoObjetoAxioma();
    axioma.setObjeto1(Objeto1);
    axioma.setRelacao(Relacao);
    axioma.setObjeto2(Objeto2);
    valor = axiomas.encontrar(axioma);

    if (valor == -1) achou = false;
    else achou = true;

    return achou;

}
}

```

Arquivo: IfabricarObjetoRelacional.java

```
package modulo.armazenamento.xml.visao.relacional;

import javax.xml.bind.JAXBException;
import modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.api.jaxb.*;

public interface IfabricarObjetoRelacional {

    public CtTripla novoObjetoAxioma() throws JAXBException;

    public CtTripla novoObjetoAxioma(String objeto1, String relacao, String objeto2) throws JAXBException;

    public CtTriplas novoObjetoAxiomas() throws JAXBException;

}
```

Arquivo: fabricarObjetoRelacional.java

```
package modulo.armazenamento.xml.visao.relacional;

import javax.xml.bind.JAXBException;
import modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.api.jaxb.*;

public class fabricarObjetoRelacional implements IfabricarObjetoRelacional {

    ObjectFactory objFactory = new ObjectFactory();

    public CtTriplas novoObjetoAxiomas() throws JAXBException {

        CtTriplas axiomas = objFactory.createCtTriplas();
        return axiomas;
    }

    public CtTripla novoObjetoAxioma() throws JAXBException {

        CtTripla axioma = objFactory.createCtTripla();
        return axioma;
    }

    public CtTripla novoObjetoAxioma(String objeto1, String relacao, String objeto2) throws JAXBException {

        CtTripla axioma = objFactory.createCtTripla();
        axioma.setObjeto1(objeto1);
        axioma.setRelacao(relacao);
        axioma.setObjeto2(objeto2);

        return axioma;
    }

}
```

Arquivo: Iaxiomas.java

```

package modulo.armazenamento.xml.visao.relacional;

import javax.xml.bind.JAXBException;
import modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.api.jaxb.CtTripla;

public interface Iaxiomas {

    public int encontrar(CtTripla axioma) throws JAXBException;

    public void atualizar(CtTripla axioma) throws JAXBException;

    public boolean excluir(CtTripla axioma) throws JAXBException;

    public int quantidade();
}

```

Arquivo: axiomas.java

```

package modulo.armazenamento.xml.visao.relacional;

import java.util.Iterator;
import java.util.List;
import javax.xml.bind.JAXBException;
import modulo.armazenamento.xml.visao.relacional.api.jaxb.*;

public class axiomas implements Iaxiomas {

    private CtTriplas Axiomas;

    public axiomas() throws JAXBException {
        IfabricarObjetoRelacional fabricar = new fabricarObjetoRelacional();
        Axiomas = fabricar.novoObjetoAxiomas();
    }

    public axiomas(CtTriplas axiomas) throws JAXBException {
        Axiomas = axiomas;
    }

    public void atualizar(CtTripla axioma) throws JAXBException {

        int posicao = this.encontrar(axioma);
        List listaDeAxiomas = Axiomas.getTripla();

        if (posicao == -1) {
            listaDeAxiomas.add(axioma);
        } else {
            listaDeAxiomas.set(posicao, axioma);
        }
    }
}

```

```

public int encontrar(CtTripla axioma) throws JAXBException {

    int posicao = 0;
    boolean achou = false;
    IfabricarObjetoRelacional fabricar = new fabricarObjetoRelacional();
    CtTripla axiomaAuxiliar = fabricar.novoObjetoAxioma();
    Iterator iter = Axiomas.getTripla().listIterator();

    while (iter.hasNext()) {
        axiomaAuxiliar = (CtTripla) iter.next();
        if (axioma.getObjeto1().equals(axiomaAuxiliar.getObjeto1())
            && axioma.getRelacao().equals(axiomaAuxiliar.getRelacao())
            && axioma.getObjeto2().equals(axiomaAuxiliar.getObjeto2())) {

                achou = true;
                break;
            }
        posicao++;
    }
    if (achou == false)
        posicao = -1;
    return posicao;
}

public boolean excluir(CtTripla axioma) throws JAXBException {

    boolean achou = false;
    IfabricarObjetoRelacional fabricar = new fabricarObjetoRelacional();
    CtTripla axiomaAuxiliar = fabricar.novoObjetoAxioma();
    Iterator iter = Axiomas.getTripla().listIterator();

    while (iter.hasNext()) {
        axiomaAuxiliar = (CtTripla) iter.next();
        if (axioma.getObjeto1().equals(axiomaAuxiliar.getObjeto1())
            && axioma.getRelacao().equals(axiomaAuxiliar.getRelacao())
            && axioma.getObjeto2().equals(axiomaAuxiliar.getObjeto2())) {

                iter.remove();
                achou = true;
                break;
            }
    }
    return achou;
}

public int quantidade() {

    List listaDeAxiomas = Axiomas.getTripla();
    return listaDeAxiomas.size();
}
}

```

***ANEXO B: XML-SCHEMA
REFERENTE AO MODELO XML
APRESENTADO NO CAPÍTULO 6***

Especificação XML-Schema Referente à Visão Hierárquica

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" elementFormDefault="qualified" attributeFormDefault="unqualified">
  <xs:element name="VisaoHierarquica" type="CtVisaoHierarquica"/>
  <xs:complexType name="CtVisaoHierarquica">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Conceitos"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Conceitos" type="CtConceitos"/>
  <xs:complexType name="CtConceitos">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Conceito" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Conceito" type="CtConceito"/>
  <xs:complexType name="CtConceito">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="IdentificadorConceito"/>
      <xs:element name="Tipo" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Foto" type="xs:string"/>
      <xs:element ref="DefinicoesAlternativas" minOccurs="0"/>
      <xs:element ref="HierarquiaConceito"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:ID"/>
  <xs:element name="DefinicoesAlternativas" type="CtDefinicoesAlternativas"/>
  <xs:complexType name="CtDefinicoesAlternativas">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="DefinicaoAlternativa" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="DefinicaoAlternativa" type="CtDefinicaoAlternativa"/>
  <xs:complexType name="CtDefinicaoAlternativa">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="ValorDefinicaoConceito"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
  <xs:element name="HierarquiaConceito" type="CtHierarquiaConceito"/>
  <xs:complexType name="CtHierarquiaConceito">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="HierarquiasAcima"/>
      <xs:element ref="HierarquiasAbaixo"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="HierarquiasAcima" type="CtHierarquiasAcima"/>
  <xs:complexType name="CtHierarquiasAcima">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="HierarquiaAcima" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="HierarquiasAbaixo" type="CtHierarquiasAbaixo"/>
  <xs:complexType name="CtHierarquiasAbaixo">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="HierarquiaAbaixo" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="HierarquiaAcima" type="CtHierarquiaAcima"/>
  <xs:complexType name="CtHierarquiaAcima">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:IDREF"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="HierarquiaAbaixo" type="CtHierarquiaAbaixo"/>
  <xs:complexType name="CtHierarquiaAbaixo">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:IDREF"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:schema>

```

Especificação *XML-Schema* Referente à Visão Relacional

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" elementFormDefault="qualified" attributeFormDefault="unqualified">
  <xs:element name="VisaoRelacional" type="CtVisaoRelacional"/>
  <xs:complexType name="CtVisaoRelacional">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Axiomas"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Axiomas" type="CtAxiomas"/>
  <xs:complexType name="CtAxiomas">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Axioma" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Axioma" type="CtAxioma"/>
  <xs:complexType name="CtAxioma">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Objeto1"/>
      <xs:element ref="Relacao"/>
      <xs:element ref="Objeto2"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Objeto1" type="CtObjeto1"/>
  <xs:complexType name="CtObjeto1">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Relacao" type="CtRelacao"/>
  <xs:complexType name="CtRelacao">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Objeto2" type="CtObjeto2"/>
  <xs:complexType name="CtObjeto2">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:schema>

```

Especificação XML-Schema Referente à Base de Casos de Hipóteses

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" elementFormDefault="qualified" attributeFormDefault="unqualified">
  <xs:element name="Casos" type="CtCasos"/>
  <xs:complexType name="CtCasos">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Hipoteses"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Hipoteses" type="CtHipoteses"/>
  <xs:complexType name="CtHipoteses">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Hipotese" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Hipotese" type="CtHipotese"/>
  <xs:complexType name="CtHipotese">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="IdentificadorHipotese"/>
      <xs:element ref="Causa"/>
      <xs:element ref="Efeito"/>
      <xs:element ref="EsqueletoHistoria"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Causa" type="CtCausa"/>
  <xs:complexType name="CtCausa">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Axioma"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Efeito" type="CtEfeito"/>
  <xs:complexType name="CtEfeito">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Axioma"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Axioma" type="CtAxioma"/>
  <xs:complexType name="CtAxioma">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Objeto1"/>
      <xs:element ref="Relacao"/>
      <xs:element ref="Objeto2"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Objeto1" type="CtObjeto1"/>
  <xs:complexType name="CtObjeto1">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Relacao" type="CtRelacao"/>
  <xs:complexType name="CtRelacao">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Objeto2" type="CtObjeto2"/>
  <xs:complexType name="CtObjeto2">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="EsqueletoHistoria" type="CtEsqueletoHistoria"/>
  <xs:complexType name="CtEsqueletoHistoria">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="ObjetosReferenciados"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>

```

```
<xs:element name="ObjetosReferenciados" type="CtObjetosReferenciados"/>
<xs:complexType name="CtObjetosReferenciados">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="ObjetoReferenciado" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="ObjetoReferenciado" type="CtObjetoReferenciado"/>
<xs:complexType name="CtObjetoReferenciado">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="Referencia" type="xs:string"/>
    <xs:element name="Valor" type="xs:string"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="IdentificadorHipotesis" type="xs:ID"/>
</xs:schema>
```

Especificação XML-*Schema* Referente à Base de Casos de Questionamentos

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" elementFormDefault="qualified" attributeFormDefault="unqualified">
  <xs:element name="Casos" type="CtCasos"/>
  <xs:complexType name="CtCasos">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Questionamentos"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Questionamentos" type="CtQuestionamentos"/>
  <xs:complexType name="CtQuestionamentos">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Questionamento" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Questionamento" type="CtQuestionamento"/>
  <xs:complexType name="CtQuestionamento">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="IdentificadorHipotese"/>
      <xs:element ref="IdentificadorQuestionamento"/>
      <xs:element ref="Questao"/>
      <xs:element ref="Resposta"/>
      <xs:element ref="EsqueletoHistoria"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Axioma" type="CtAxioma"/>
  <xs:complexType name="CtAxioma">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Objeto1"/>
      <xs:element ref="Relacao"/>
      <xs:element ref="Objeto2"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Objeto1" type="CtObjeto1"/>
  <xs:complexType name="CtObjeto1">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Relacao" type="CtRelacao"/>
  <xs:complexType name="CtRelacao">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Objeto2" type="CtObjeto2"/>
  <xs:complexType name="CtObjeto2">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="EsqueletoHistoria" type="CtEsqueletoHistoria"/>
  <xs:complexType name="CtEsqueletoHistoria">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="ObjetosReferenciados"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="ObjetosReferenciados" type="CtObjetosReferenciados"/>

```

```

<xs:complexType name="CtObjetosReferenciados">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="ObjetoReferenciado" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="ObjetoReferenciado" type="CtObjetoReferenciado"/>
<xs:complexType name="CtObjetoReferenciado">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="Referencia" type="xs:string"/>
    <xs:element name="Valor" type="xs:string"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="Questao" type="CtQuestao"/>
<xs:complexType name="CtQuestao">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="Axioma"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="Resposta" type="CtResposta"/>
<xs:complexType name="CtResposta">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="Axioma"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="IdentificadorHipotese" type="xs:string"/>
<xs:element name="IdentificadorQuestionamento" type="xs:string"/>
</xs:schema>

```

Especificação XML-Schema Referente à Visão Causal

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" elementFormDefault="qualified" attributeFormDefault="unqualified">
  <xs:element name="VisaoCausal" type="CtVisaoCausal"/>
  <xs:complexType name="CtVisaoCausal">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Hipoteses"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Hipoteses" type="CtHipoteses"/>
  <xs:complexType name="CtHipoteses">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Hipotese" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Hipotese" type="CtHipotese"/>
  <xs:complexType name="CtHipotese">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorHipotese" type="xs:ID"/>
      <xs:element ref="Causa"/>
      <xs:element ref="Efeito"/>
      <xs:element ref="SituacaoGeneralizada" minOccurs="0"/>
      <xs:element ref="EsqueletoHistoria"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Causa" type="CtCausa"/>
  <xs:complexType name="CtCausa">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Axioma"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Efeito" type="CtEfeito"/>
  <xs:complexType name="CtEfeito">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Axioma"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="EsqueletoHistoria" type="CtEsqueletoHistoria"/>
  <xs:complexType name="CtEsqueletoHistoria">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="ObjetosReferenciados"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="ObjetosReferenciados" type="CtObjetosReferenciados"/>
  <xs:complexType name="CtObjetosReferenciados">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="ObjetoReferenciado" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="ObjetoReferenciado" type="CtObjetoReferenciado"/>
  <xs:complexType name="CtObjetoReferenciado">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="Referencia" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Valor" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Axioma" type="CtAxioma"/>
  <xs:complexType name="CtAxioma">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Objeto1"/>
      <xs:element ref="Relacao"/>
      <xs:element ref="Objeto2"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Objeto1" type="CtObjeto1"/>
  <xs:complexType name="CtObjeto1">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>

```

```

<xs:element name="Relacao" type="CtRelacao"/>
<xs:complexType name="CtRelacao">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
    <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="Objeto2" type="CtObjeto2"/>
<xs:complexType name="CtObjeto2">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="IdentificadorConceito"/>
    <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="SituacaoGeneralizada" type="CtSituacaoGeneralizada"/>
<xs:complexType name="CtSituacaoGeneralizada">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="AxiomaGeralCausa"/>
    <xs:element ref="AxiomaGeralEfeito"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="GeneralizarObjeto1" type="CtGeneralizarObjeto1"/>
<xs:complexType name="CtGeneralizarObjeto1">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="Referencias"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="GeneralizarObjeto2" type="CtGeneralizarObjeto2"/>
<xs:complexType name="CtGeneralizarObjeto2">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="Referencias"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="AxiomaGeralCausa" type="CtAxiomaGeralCausa"/>
<xs:complexType name="CtAxiomaGeralCausa">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="GeneralizarObjeto1"/>
    <xs:element ref="Relacao"/>
    <xs:element ref="GeneralizarObjeto2"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="AxiomaGeralEfeito" type="CtAxiomaGeralEfeito"/>
<xs:complexType name="CtAxiomaGeralEfeito">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="GeneralizarObjeto1"/>
    <xs:element ref="Relacao"/>
    <xs:element ref="GeneralizarObjeto2"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="Referencias" type="CtReferencias"/>
<xs:complexType name="CtReferencias">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="Referencia" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="Referencia" type="CtReferencia"/>
<xs:complexType name="CtReferencia">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
    <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
    <xs:element ref="EstabelecerComoVariavel"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="EstabelecerComoVariavel" type="xs:boolean">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>true=Variavel; false=Constante</xs:documentation>
  </xs:annotation>
</xs:element>
</xs:schema>

```

Especificação XML-Schema Referente à Visão de Questionamento

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" elementFormDefault="qualified" attributeFormDefault="unqualified">
  <xs:element name="VisaoQuestionamento" type="CtVisaoQuestionamento"/>
  <xs:complexType name="CtVisaoQuestionamento">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Questionamentos"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Questionamentos" type="CtQuestionamentos"/>
  <xs:complexType name="CtQuestionamentos">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Questionamento" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Questionamento" type="CtQuestionamento"/>
  <xs:complexType name="CtQuestionamento">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="IdentificadorHipotese"/>
      <xs:element ref="IdentificadorQuestionamento"/>
      <xs:element ref="Questao"/>
      <xs:element ref="Resposta"/>
      <xs:element ref="SituacaoGeneralizada" minOccurs="0"/>
      <xs:element ref="EsqueletoHistoria"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Questao" type="CtQuestao"/>
  <xs:complexType name="CtQuestao">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Axioma"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Resposta" type="CtResposta"/>
  <xs:complexType name="CtResposta">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Axioma"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="EsqueletoHistoria" type="CtEsqueletoHistoria"/>
  <xs:complexType name="CtEsqueletoHistoria">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="ObjetosReferenciados"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="ObjetosReferenciados" type="CtObjetosReferenciados"/>
  <xs:complexType name="CtObjetosReferenciados">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="ObjetoReferenciado" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="ObjetoReferenciado" type="CtObjetoReferenciado"/>
  <xs:complexType name="CtObjetoReferenciado">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="Referencia" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Valor" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Axioma" type="CtAxioma"/>
  <xs:complexType name="CtAxioma">
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="Objeto1"/>
      <xs:element ref="Relacao"/>
      <xs:element ref="Objeto2"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:element name="Objeto1" type="CtObjeto1"/>
  <xs:complexType name="CtObjeto1">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>

```

```

<xs:element name="Relacao" type="CtRelacao"/>
<xs:complexType name="CtRelacao">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
    <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="Objeto2" type="CtObjeto2"/>
<xs:complexType name="CtObjeto2">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="IdentificadorConceito"/>
    <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="SituacaoGeneralizada" type="CtSituacaoGeneralizada"/>
<xs:complexType name="CtSituacaoGeneralizada">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="AxiomaGeralQuestao"/>
    <xs:element ref="AxiomaGeralResposta"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="GeneralizarObjeto1" type="CtGeneralizarObjeto1"/>
<xs:complexType name="CtGeneralizarObjeto1">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="Referencias"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="GeneralizarObjeto2" type="CtGeneralizarObjeto2"/>
<xs:complexType name="CtGeneralizarObjeto2">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="Referencias"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="AxiomaGeralQuestao" type="CtAxiomaGeralQuestao"/>
<xs:complexType name="CtAxiomaGeralQuestao">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="GeneralizarObjeto1"/>
    <xs:element ref="Relacao"/>
    <xs:element ref="GeneralizarObjeto2"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="AxiomaGeralResposta" type="CtAxiomaGeralResposta"/>
<xs:complexType name="CtAxiomaGeralResposta">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="GeneralizarObjeto1"/>
    <xs:element ref="Relacao"/>
    <xs:element ref="GeneralizarObjeto2"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="Referencias" type="CtReferencias"/>
<xs:complexType name="CtReferencias">
  <xs:sequence>
    <xs:element ref="Referencia" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="Referencia" type="CtReferencia"/>
<xs:complexType name="CtReferencia">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="IdentificadorConceito" type="xs:string"/>
    <xs:element name="ValorDefinicaoConceito" type="xs:string"/>
    <xs:element ref="EstabelecerComoVariavel"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="EstabelecerComoVariavel" type="xs:boolean">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>true=Variavel; false=Constante</xs:documentation>
  </xs:annotation>
</xs:element>
<xs:element name="IdentificadorHipoteses" type="xs:string"/>
<xs:element name="IdentificadorQuestionamento" type="xs:string"/>
</xs:schema>

```

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. *Uma visão geral sobre ontologias: pesquisa sobre definições, tipos, aplicações, métodos de avaliação e construção*. Janeiro 2006. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <http://www.eci.ufmg.br/mba/text/artigo_ontologia_pesquisa_sub2_WEB.pdf>.
- ALTOVA. *Altova*. Janeiro 2006. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.altova.com>>.
- ANTONIOU, G.; HARMELEN, F. *A Semantic Web Primer*. [S.l.]: Massachusetts Institute of Technology, 2004. ISBN 0-262-01210-3.
- AUSUBEL, D.; NOVAK, J.; HANESIAN, H. *Educational Psychology: A Cognitive View*. [S.l.]: New York: Holt, Rinehart and Winston, 1978.
- AZAMBUJA, R. *Inteligência Artificial em Educação: Um Modelo de Sistema Tutorial Inteligente para Microcomputadores*. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.
- BARNARD, Y. F.; SANDBERG, J. A. C. *The learner in the centre: Towards a methodology for open learner environments*. Tese (Doutorado) — The Netherlands: University of Amsterdam, Amsterdam, 1994.
- BELL, P.; DAVIS, E. A. Designing mildred: Scaffolding students' reflection and argumentation using a cognitive software guide. *Proceedings of ICLS '00: The Fourth International Conference on the Learning Sciences*, 2000.
- BGUILLE. *BGuILE: Biology Guided Inquiry Learning Environments*. Janeiro 2006. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.letus.org/bguile/>>.
- BLANCHETTE, I.; DUNBAR, K. Analogy use in naturalistic settings: The influence of audience, emotion, and goals. *Memory & Cognition*, 2001.
- BOONSTRA, O.; BREURE, L.; DOORN, P. *Past, Present and Future of Historical Information Science*. Journal Historical Social Research / Historische Sozialforschung, 2004. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. ISBN 9069844133. Disponível em: <http://www.niwi.nl/en/geschiedenis/medewerkers/peter_doorn_home_page/new_0_copy1/past_present_future_of_historical_information_science/>.
- BOURDEAU, J.; MIZOGUCHI, R. Collaborative ontological engineering of instructional design knowledge for an its authoring environment. *Proc. of the 6th International Conference, ITS 2002*, p. 399–409, 2002. Último acesso em 24 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/pub/all-publications.html>>.
- BRUNER, J. S. The act of discovery. *Harvard Educational Review*, v. 31, n. 1, p. 21–32, 1961.
- BRUNER, J. S.; GOODNOW, J. J.; AUSTIN, G. A. *A study of thinking*. [S.l.]: New York: Science Editions, 1956.
- BUCH, W. *Clássicos Eternos: Pinóquio*. [S.l.]: Editora e Ilustrações, 2003.

BUNGE, M. *Epistemologia: curso de atualização*. [S.l.]: São Paulo: T. A. Queiroz: Ed. da Universidade de São Paulo, 1980.

CHANDRASEKARAN, B.; JOSEPHSON, J. R.; BENJAMINS, V. R. What are ontologies, and why do we need them? *IEEE Intelligent Systems*, 1999. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <http://www.infofusion.buffalo.edu/conferences_and_workshops/ontology_wkshop_2/ont_ws2_working_materials/ChandrasekaranRoleofOntology.pdf>.

CHAVES, M. S. Um estudo sobre xml, ontologias e rdf(s). 2001. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <http://www.inf.pucrs.br/mchaves/pg_portugues/tc/paperxml.pdf>.

CHEESEMAN, P. et al. Autoclass: A bayesian classification system. In: *ML*. [S.l.: s.n.], 1988. p. 54–64.

CHENG, P. Artificial intelligence: scientific reasoning, computational models. *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, 2001. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.cogs.susx.ac.uk/users/peterch/ChengPapers.html>>.

COSTA, J. A. M. Extensible markup language - xml. *Revista do CCEI*, v. 4, n. 6, agosto 2000. Último acesso em 10 de Julho de 2006. Disponível em: <<http://atila.urcamp.tche.br/ccei/numero6.pdf>>.

COSTA, N.; KRAUSE, D. *Notas de Lógica, Parte I : Lógicas Proposicionais Clássica e Paraconsistente*. 2004. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.cfh.ufsc.br/dkrause/LogicaUm.pdf>>.

DUNBAR, K.; KLAHR, D. Developmental differences in scientific discovery processes. *Complex information processing*, 1989. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.psy.cmu.edu/faculty/klahr/personal/pubs.htm>>.

ELSOM-COOK, M. *Guided Discovery Tutoring*. [S.l.]: Paul Chapman Publishing, London, 1990.

EXLINE, J. *Workshop: Inquiry-based Learning*. Educational Broadcasting Corporation, 2004. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.thirteen.org/edonline/concept2class/index.html>>.

EXPLORELEARNING. *ExploreLearning*. 2006. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.explorelarning.com/>>.

FAJTLOWICZ, S. On conjectures of graffiti. *Discrete Mathematics*, 1998.

FEDERIZZI, G. *APIs Java para XML*. 2006. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <http://www.inf.ufrgs.br/proctpar/disc/inf01008/trabalhos/sem01-1/t2/apis_xml_java/>.

FEIGENBAUM, E. A.; BUCHANAN, B. G.; LEDERBERG, J. *On generality and problem solving: a case study using the DENDRAL program*. Stanford, CA, USA, 1970.

FONSECA, M. de C. *LETRAMENTO DIGITAL: uma possibilidade de inclusão social através da utilização de software livre e da educação a distância*. Minas Gerais, 2005. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.ginix.ufla.br/documentacao/monografias/mono-MagnaFonseca.pdf>>.

FREITAS, F. Ontologias e a web semântica. *Anais do XXIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, v. 8, p. 1–52, 2003. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.inf.unisinos.br/renata/cursos/topicosv/ontologias-ws.pdf>>.

FRIEDLER, Y.; NACHMIAS, R.; LINN, M. Learning scientific reasoning skills in microcomputer-based laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 27, p. 173–191, 1990.

FRIGG, R.; HARTMANN, S. Models in science. In: ZALTA, E. N. (Ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. [s.n.], 2006. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://plato.stanford.edu/archives/spr2006/entries/models-science/>>.

FUNG, K. Y. *XSLT interagindo com XML e HTML*. [S.l.]: Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2001.

GARGANTILLA, J. Ángel R.; GÓMEZ-PÉREZ, A. *A survey on ontology-based applications: e-commerce, knowledge management, multimedia, information sharing and educational applications will deserve special attention*. 2004. Último acesso em 24 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://ontoweb.aifb.uni-karlsruhe.de/Members/ruben/Deliverable%201.6>>.

GIJLERS, A. H. *Confrontation and co-construction: exploring and supporting collaborative scientific discovery learning with computer simulations*. Tese (Doutorado) — University of Twente, 2005. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://doc.utwente.nl/50896/>>.

GIJLERS, H. *Inventory of inquiry learning programs*. [S.l.], 2005. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://telearn.noie-kaleidoscope.org/warehouse/Gijlers-Kaleidoscope-2005.pdf>>.

GREEN, R.; BEAN, C. A.; MYAENG, S. H. *The Semantics of Relationships: An Interdisciplinary Perspective*. [S.l.]: Kluwer Academic Publishers, 2002. 51-70 p. ISBN 1402005687.

GROOT, A. D. D. *Methodology, foundations of inference and research in the behavioural sciences*. [S.l.]: The Hague: Mouton, 1969.

GUARINO, N. Formal ontology and information systems. In: *Proceedings of FOIS-98*. Trento, Italy: IOS Press, 1998. p. 3–15. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.loa-cnr.it/Papers/FOIS98.pdf>>.

GUARINO, N. *Towards a Methodology for Ontology-Driven Conceptual Modeling ontological analysis of taxonomic relationships*. 2006. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://lisi.insa-lyon.fr/~jpierson/lisi-seminaires/2000-2001/download/guarino-051000.pdf>>.

HEGENBERG, L. *Explicações Científicas: Introdução à Filosofia da Ciência*. [S.l.]: Editora da Universidade de São Paulo, 1973.

HEMPEL, C. *Filosofia da Ciência Natural*. [S.l.]: Rio de Janeiro: Zahar, 1981.

HEMPEL, C. G.; OPPENHEIM, P. Studies in the logic of explanation. *Philosophy of science*, 1948. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://socrates.berkeley.edu/~fitelson/290/studies.pdf>>.

HEY, T.; TREFETHEN, A. The data deluge: An e-science perspective. *Chapter in 'Grid Computing' Edited by F Berman, G C Fox and A J G Hey*, Wiley, 2002. Último acesso em 03 de Outubro de 2006. Disponível em: <<http://www.ecs.soton.ac.uk/~ajgh/papers.htm>>.

HEY, T.; TREFETHEN, A. e-science and its implications. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 2003. Último acesso em 03 de Outubro de 2006. Disponível em: <<http://eprints.ecs.soton.ac.uk/7964/>>.

HOLT, P. et al. Student modelling: The key to individualized knowledge-based instruction. *Computer and Systems Series*, 1994.

HOLYOAK, K.; MORRISON, R. *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2005.

Houben, G. J. et al. *State of the art semantic interoperability for distributed user profiles*. 2005. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <https://doc.telin.nl/dscgi/ds.py/Get/File-51973/TUE_D1.6.pdf>.

Hulshof, C. *Discovery of Ideas and Ideas about Discovery*. Tese (Doutorado) — Twente University Press, 2001. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://doc.utwente.nl/37620/>>.

IEEE. *Standard Upper Ontology Working Group*. Junho 2006. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://suo.ieee.org/>>.

Jesuit-University. *Astronomy Village: Investigating the Universe*. 2006. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.cet.edu/products/av1/overview.html>>.

Jesuit-University. *BioBLAST*. 2006. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.cet.edu/products/bioblast/overview.html>>.

Jesus, A. de. *Sistemas tutores inteligentes uma visão geral*. Dezembro 2003. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/resi/edicao03/artigo06.pdf>>.

Jonassen, D.; Serrano, J. Case-based reasoning and instructional design: Using stories to support problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 2002. Último acesso em 29 de Junho de 2006. Disponível em: <http://sage.sdsu.edu/compswiki/uploads/CompsWiki/Case_Based_Reasoning_and_ID.pdf>.

Jonassen, D. H. Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm? *Educational Technology Research and Development*, v. 39, p. 5–14, 1991.

Jong, T. D.; Njoo, M. Learning and instruction with computer simulations: learning processes involved. In: Corte, E. D. et al. (Ed.). *Computer-based learning environments and problem solving*. Springer, Berlin, 1992. p. 411–429. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://doc.utwente.nl/27111/>>.

Joolingen, W. R. V. Cognitive tools for discovery learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, v. 10, p. 385–397, 1999. Disponível em: <http://aied.inf.ed.ac.uk/members99/archive/vol_10/joolingen/full.html>.

Joolingen, W. R. V.; Jong, T. D. Discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *IST - Memo-96-02*, 1996. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/staf11/textes/ref.html>>.

Joolingen, W. R. V.; Jong, T. D. An extended dual search space model of scientific discovery learning. *Instructional science*, v. 25, p. 307–346, 1997. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://doc.utwente.nl/26782/>>.

Jung, C. F. *Metodologia Científica Metodologia Científica: Ênfase em Pesquisa Tecnológica Ênfase em Pesquisa Tecnológica*. 2004. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.jung.pro.br>>.

Kasai, T.; Yamaguchi, H.; Mizoguchi, R. Development of a system that supports teachers of it education in the instructional design process based on ontology. *Proceedings of the International Conference on Computers in Education (ICCE2003)*, p. 1099–1102, 2003. Último acesso em 24 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/pub/all-publications.html>>.

KASAI, T.; YAMAGUCHI, H.; MIZOGUCHI, R. An ontological approach for supporting the instructional design process of information education. *Proceedings of the Artificial Intelligence in Education (AIED2003)*, p. 437–439, 2003. Último acesso em 24 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/pub/all-publications.html>>.

KÖCHE, J. C. *Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e prática da pesquisa*. 14^a. ed. [S.l.]: Petrópolis, RJ: Vozes, 1997.

KITAMURA, Y.; MIZOGUCHI, R. Ontology-based description of functional design knowledge and its use in a functional way server. *Expert Systems with Application*, v. 24, n. 02, p. 153–166, 2003. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/pub/all-publications.html>>.

KITAMURA, Y.; MIZOGUCHI, R. Tutorial on ontological engineering - part 2: Ontology development, tools and languages. *New Generation Computing, OhmSha&Springer*, v. 22, n. 1, p. 61–96, 2004. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/pub/all-publications.html>>.

KLAHR, D.; DUNBAR, K. Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 1988. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.psy.cmu.edu/faculty/klahr/personal/pubs.htm>>.

KLAHR, D.; SIMON, H. A. Studies of scientific discovery: Complementary approaches and convergent findings. *Psychological Bulletin*, 1999. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.psy.cmu.edu/faculty/klahr/personal/pubs.htm>>.

KOSLOSKY, M. A. N. *Aprendizagem Baseada em Casos um Ambiente para Ensino de Lógica de Programação*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. Último acesso em 25 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta99/koslosky/>>.

KUHN, D. Science as argument: implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 1993.

KULKARNI, D.; SIMON, H. A. The processes of scientific discovery: The strategy of experimentation. *Cognitive Science*, 1988. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.informatics.sussex.ac.uk/courses/ModDis/Internal/Kulkarni&Simon.pdf>>.

LANGLEY, P. A review of research on learning and discovery. *Complex Information Processing*, 1980. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://shelf1.library.cmu.edu/cgi-bin/tiff2pdf/simon/box00071/fld07595/bd10001/doc0001/simon.pdf>>.

LANGLEY, P. The computational support of scientific discovery. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2000. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://csl.stanford.edu/discovery04/schedule.html>>.

LANGLEY, P. et al. *Scientific Discovery: Computational Explorations of the Creative Process*. [S.l.: s.n.], 1992.

LEE, Y.; BUCHANAN, B. G.; ARONIS, J. M. Knowledge-based learning in exploratory science: learning rules to predict rodent carcinogenic-ity. *Machine Learning*, 1998.

LEMOISSON, P. et al. Interactive construction of encore (learning by building and using an encyclopedia). In: MOSTOW, J.; TEDESCO, P. (Ed.). *GLS'04: 1st Workshop on GRID Learning Services at ITS'04*. Maceió, Brazil: [s.n.], 2004. p. 78–93. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://papyrus.lirmm.fr/Reference.htm?numrec=191923968910570>>.

LENAT, D. *Artificial Intelligence*, 1983.

LENAT, D. B. Eurisco: A program that learns new heuristics and domain concepts. the nature of heuristics iii: Program design and results. *Artificial Intelligence*, v. 21, p. 61–218, 1983.

LEWIS, D. Objectivism vs. constructivism: The origins of this debate and the implications for instructional designers. *Development of Technology-Based Instruction*, 2001. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <http://www.coedu.usf.edu/agents/dlewis/publications/Objectivism_vs_Constructivism.htm>.

MAHER, M.; BALACHANDRAN, M.; ZHANG, D. *Case-Based Reasoning in Design*. [S.l.]: Lawrence Erlbaum Associates, 1995.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. *Fundamentos de metodologia científica*. 5ª. ed. [S.l.]: São Paulo: Atlas, 2003.

MARTINS, I.; OGBORN, J.; KRESS, G. Explicando uma explicação. *Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 1, n. 1, setembro 1999. Último acesso em 25 de Janeiro de 2006. Disponível em: <http://www.fae.ufmg.br:8080/ensaio/v1_n1/1_2.pdf>.

MARTINS, L. de F. *Um Modelo Genérico de Agente Racional Baseado em Raciocínio Assíncrono Interativo*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2002. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.ourgrid.org/twiki-public/pub/COPIN/DissertacoesMestrado/LidianadeFrancaMartins.zip>>.

MATTHEWS, B.; SUFI, S. *The CLRC Scientific Metadata Model*. [S.l.], 2001. Último acesso em 03 de Outubro de 2006. Disponível em: <<http://epubs.cclrc.ac.uk/bitstream/478/dltr-2002001.pdf>>.

MENESES, L. J. de S. A. *Formalização da Interação Colaborativa no Âmbito do SIANALCO*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MICHALSKI, R. S.; CARBONELL, J. G.; MITCHELL, T. M. *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 1983.

MIKA, P. *Applied Ontology-based Knowledge Management: A Report on the State-of-the-Art*. Dissertação (Mestrado) — Vrije Universiteit, Amsterdam, 2002. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.cs.vu.nl/pmika/thesis/pmika-thesis-full.doc>>.

MILLER, E. *The Semantic Web*. Junho 2006. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.w3.org/2004/Talks/0120-semweb-umich/Overview.html>>.

MIZOGUCHI, R. Tutorial on ontological engineering - part 1: Introduction to ontological engineering. *New Generation Computing, OhmSha&Springer*, v. 21, n. 4, p. 365–384, 2003. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/pub/all-publications.html>>.

MIZOGUCHI, R. The role of ontological engineering for aied research. *Computer Science and Information Systems*, v. 02, n. 01, 2005. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.comsis.fon.bg.ac.yu/ComSIS/Vol2No1/InvitedPapers/RMizoguchi.htm>>.

MIZOGUCHI, R.; BOURDEAU, J. Using ontological engineering to overcome common ai-ed problems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, v. 11, p. 107–121, 2000. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <http://aied.inf.ed.ac.uk/members00/archive/vol_11/mizoguchi/full.html>.

- MOREIRA, A. *Tesouros e Ontologias: estudo de definições presentes na literatura das áreas das Ciências da Computação e da Informação, utilizando-se o método analítico-sintético*. Dissertação (Mestrado) — Escola de Ciência da Informação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://opus.grude.ufmg.br/opus/opusanexos.nsf/>>.
- MOTT, B. W.; LESTER, J. C. Narrative-centered tutorial planning for inquiry-based learning environments. 2006. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.bradfordmott.com/papers/crystal-island-its-06.pdf>>.
- MULHOLLAND, P.; ZDRAHAL, Z.; COLLINS, T. *CIPHER: Enabling Communities of Interest to Promote Heritage of European Regions. Cultivate Interactive*. 2002. Último acesso em 24 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.cultivate-int.org/issue8/cipher/>>.
- NEWELL, A.; SAW, J. C.; SIMON, H. A. Elements of theory of human problem solving. *Annual Review of Psychological*, p. 173–205, 1958.
- NEWELL, A.; SIMON, H. A. *Human Problem Solving*. [S.l.]: Oxford, UK: Prentice-Hall, 1972.
- OECD. *The PISA 2003 Assessment Framework - Mathematics, Reading, Science and Problem Solving Knowledge and Skills*. [S.l.], 2003. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.pisa.oecd.org/dataoecd/46/14/33694881.pdf>>.
- OLIVA, A. *Filosofia da Ciência*. [S.l.]: Rio de Janeiro: Zahar, 2003.
- ORT, E.; MEHTA, B. Java architecture for xml binding (jaxb). 2003. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://java.sun.com/developer/technicalArticles/WebServices/jaxb/index.html>>.
- OWENSBY, J.; KOLODNER, J. Case interpretation and application in support of scientific reasoning. *Cognitive Science Society*, 2004. Último acesso em 05 de Julho de 2006. Disponível em: <<http://www.cogsci.northwestern.edu/cogsci2004/papers/paper526.pdf>>.
- PARAGUAÇU, F. *VYGOTSKY: Un Environnement d'Apprentissage Social pour la programmation fondé sur la collaboration entre agents d'aide à la conception par cas*. Tese (Doutorado) — Université d'Aix-Marseille III (Droit, Econ. et Sciences), U.D.M. III, França, 1997.
- PARAGUAÇU, F. et al. A peer-to-peer architecture for the collaborative construction of scientific theories by virtual communities. *IEEE*, 2003.
- PEACH, K. J. *The Impact of e-Science*. 2006. Último acesso em 03 de Outubro de 2006. Disponível em: <<http://www.e-science-forum.de/de/111.php>>.
- POPPER, K. *A Lógica da Pesquisa Científica*. [S.l.]: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.
- QIN, Y.; SIMON, H. A. Laboratory replication of scientific discovery processes. *Cognitive Science*, v. 14, p. 281–312, 1990.
- RASHI. *Rashi: The Inquiry*. Janeiro 2006. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://ccbit.cs.umass.edu/rashihome/>>.
- REISER, B. et al. Bguile: Strategic and conceptual scaffolds for scientific inquiry in biology classrooms. *Cognition and Instruction: Twenty five years of progress*, 2001.
- RICH, E.; KNIGHT, K. *Inteligência Artificial*. [S.l.]: São Paulo: Makrin Books, 1993.
- RIVERS, R.; VOCKELL, E. Computer simulations to stimulate scientific problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 24, p. 403–415, 1987.

- RUDNER, R. S. *Filosofia da Ciência Social*. [S.l.]: Rio de Janeiro: Zahar, 1969.
- RUSSEL, S.; NORVING, P. *Inteligência Artificial*. Tradução 2^o ed. [S.l.]: Editora Campus, 2003.
- RUSSELL, B. *História do Pensamento Ocidental: a aventura dos Présocráticos a Wittgenstein*. [S.l.]: Rio de Janeiro: Ediouro, 2001.
- SCHANK, R. *Case-Based Teaching: Four Experiences in Educational Software Design*. Evanston, Illinois, 1991.
- SCHANK, R. Goal-based scenarios: Case-based reasoning meets learning by doing. In: LEAKE, D. (Ed.). *Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons & Future Directions*. AAAI Press/The MIT, 1996. p. 295–347. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://cogprints.org/635/>>.
- SCHANK, R. C. *Tell Me a Story : Narrative and Intelligence*. [S.l.]: Northwestern University Press, Evanston, Illinois, 1998. ISBN 0810113139.
- SCHAUBLE, L. et al. Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom. *The Journal of the Learning Sciences*, 1995.
- SCHUNN, C. D. *A goals/effort tradeoff theory of experiment space search*. Tese (Doutorado) — Cranegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, 1995.
- SCHUNN, C. D.; KLAHR, D. A 4-space model of scientific discovery. *Proceedings of the 17th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 1995. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.psy.cmu.edu/faculty/klahr/personal/pubs.htm>>.
- SCHUNN, C. D.; KLAHR, D. Integrated yet different: Logical, empirical, and implementational arguments for a 4-space model of inductive problem solving. In: COTTRELL, G. (Ed.). *Proceedings of the Eighteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Mahwah, New Jersey: Erlbaum: [s.n.], 1996. p. 25–26.
- SCHUNN, C. D.; KLAHR, D. The problem of problem spaces: When and how to go beyond a 2-space model of scientific discovery. *In the Proceedings of the 18th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 1996. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.psy.cmu.edu/faculty/klahr/personal/pubs.htm>>.
- SCHUNN, C. D.; KLAHR, D. *Exploring Science: The Cognition and Development of Discovery Processes*. 2006. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.lrdc.pitt.edu/schunn/cTweb/home.html>>.
- SCIENCESPACE. *ScienceSpace*. 2006. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.virtual.gmu.edu>>.
- SCOTT, P. D.; MARKOVITCH, S. Experience selection and problem choice in an exploratory learning system. *Machine Learning*, Kluwer Academic Publishers, Boston, v. 12, p. 49–67, 1993. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.cs.technion.ac.il/shaulm/papers/abstracts/Scott-1993-ESP.html>>.
- SELF, J. A. Bypassing the intractable problem of student modeling. *Intelligent Tutoring Systems: At the crossroads of artificial intelligence and education*, 1990.
- SHRAGER, J.; LANGLEY, P. Computational approaches to scientific discovery. In: *Computational models of scientific discovery and theory formation*. [s.n.], 1990. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://csl.stanford.edu/discovery04/schedule.html>>.

SILVA, A. P. de Sousa e. *Tutores inteligentes para o treino de operadores de Centros de Controle e Condução de Redes Eléctricas - Sistema SPARSE-IT*. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 1998. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://www.dei.isep.ipp.pt/asilva/>>.

SIMON, H. A. Does scientific discovery have a logic? *Philosophy of Science*, 1973.

SIMON, H. A. *Models of Discovery*. [S.l.]: Dordrecht, The Netherlands: D. Reidel, 1977.

SIMON, H. A.; LEA, G. Problem solving and rule induction. *New Haven, CT: Yale University Press*, 1974.

SIMON H. A., L. P. W.; BRADSHAW, G. L. Scientific discovery as problem solving. *Fondazione Roselli Meeting*, 1981. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.informatics.sussex.ac.uk/courses/ModDis/Internal/SimonLangleySynthese47.pdf>>.

SOUSA, L. C. G. *Regras de Raciocínio Aplicadas a Ontologias por Meio de Sistema Multiagente para Apoio a Decisões Organizacionais*. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2003. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <http://www.ppgia.pucpr.br/ensino/defesas/Lc_guarita_2000.pdf>.

SØRMO, F.; CASSENS, J.; AAMODT, A. Explanation in case-based reasoning—perspective and goals. *Springer*, 2005. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.idi.ntnu.no/agnar/publications/AIR-2005.pdf>>.

STUDER, R.; BENJAMINS, V. R.; FENSEL, D. Knowledge engineering: Principles and methods. *IEEE Transactions on Data and Knowledge Engineering*, 1998. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/225099.html>>.

SUN. *The Java Web Services Tutorial*. 2005. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://java.sun.com/webservices/docs/1.6/tutorial/doc/>>.

SUN. Java architecture for xml binding (jaxb). 2006. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://java.sun.com/xml/jaxb/>>.

SUN. *An Overview of the APIs*. 2006. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <http://java.sun.com/webservices/jaxp/dist/1.1/docs/tutorial/overview/3_apis.html>.

TOMICH, S.; DIAS, I. C. *As Espécies de Raciocínio: dedução, indução e abdução*. 2005. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.unimar.br/pos/semiotica/raciocinio.doc>>.

URRETAVIZCAYA, M. Sistemas inteligentes en el ámbito de la educación. *Journal Title: Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, v. 12, p. 5–12, 2001. Último acesso em 20 de Janeiro de 2006. Disponível em: <http://wotan.liu.edu/docis/dbl/iariia/2001_12_5_SIEEAD.html>.

VALDÉS-PÉREZ, R. E. Machine learning in chemistry: new results. *Artificial Intelligence*, 1995.

VEERMANS, K. *Intelligent Support for Discovery Learning*. Tese (Doutorado) — Twente University Press, 2003. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://users.utu.fi/koevee/VeermansIntSupforDL.pdf>>.

W3SCHOOLS. *Introduction to XML Schema*. 2005. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <http://www.w3schools.com/schema/schema_intro.asp>.

W3SCHOOLS. *XML Tutorial*. 2005. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.w3schools.com/xml/default.asp>>.

WANGENHEIM, C.; WANGENHEIM, A. *Raciocínio Baseado em Casos*. [S.l.]: Manole, 2001.

WASON, P. C. *Reasoning about a rule*. [S.l.]: Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1968.

WHITE, B.; FREDERIKSEN, J. Causal model progressions as a foundation for intelligent learning environments. 1990. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/white90causal.html>>.

WIKIPÉDIA. *Wikipédia: A enciclopédia livre*. 2006. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org>>.

WOOLF, B. et al. A general platform for inquiry learning. 2002. Último acesso em 23 de Junho de 2006. Disponível em: <<http://ccbit.cs.umass.edu/rashihome/papers/general.framework.pdf>>.

ZIMMERMAN, C. *The Development of Scientific Reasoning Skills: What Psychologists Contribute to an Understanding of Elementary Science Learning*. [S.l.], 2005. Último acesso em 01 de Novembro de 2006. Disponível em: <http://www7.nationalacademies.org/bose/Corinne_Zimmerman_Final_Paper.pdf>.