

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

JOEL LUIS CARBONERA

**Raciocínio sobre conhecimento visual:  
Um estudo em Estratigrafia Sedimentar**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para a obtenção do grau de  
Mestre em Ciência da Computação

Profa. Dra. Mara Abel  
Orientador

Prof. Dr. Claiton M. S. Scherer  
Co-orientador

Porto Alegre, Abril de 2012

## CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Carbonera, Joel Luis

Raciocínio sobre conhecimento visual:

Um estudo em Estratigrafia Sedimentar / Joel Luis Carbonera. –  
Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 2012.

143 p.: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Computação, Porto Alegre, BR-RS, 2012. Orientador: Mara Abel; Co-orientador: Claiton M. S. Scherer.

1. Engenharia do Conhecimento. 2. Conhecimento Visual.  
3. Modelos de Conhecimento. 4. Modelagem Cognitiva.  
5. Raciocínio. 6. Ontologia. I. Abel, Mara. II. Scherer, Claiton M. S.. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Pró-Reitor de Coordenação Acadêmica: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Aldo Bolten Lucion

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Luís da Cunha Lamb

Coordenador do PPGC: Prof. Álvaro Freitas Moreira

Bibliotecária-chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

*“Não há nada simples na natureza,  
há o simplificado.”*  
— GASTON BACHELARD

*“A experiência é uma chama  
que só ilumina queimando.”*  
— BENITO PÉREZ GALDÓS

*“Por tanto amor  
Por tanta emoção  
A vida me fez assim  
Doce ou atroz  
Manso ou feroz  
Eu caçador de mim”*  
— SÉRGIO MAGRÃO E LUIZ CARLOS SÁ

*“Trago dentro do meu coração,  
Como num cofre que se não pode fechar de cheio,  
Todos os lugares onde estive,  
Todos os portos a que cheguei,  
Todas as paisagens que vi através de janelas ou vigias,  
Ou de tombadilhos, sonhando,  
E tudo isso, que é tanto, é pouco para o que eu quero.”*  
— ÁLVARO DE CAMPOS (FERNANDO PESSOA)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, José Carlos Carbonera e Maria Dolores Bés Carbonera, pelo esforço em garantir a minha educação, pelo apoio, incentivo, dedicação e compreensão durante todos os momentos da minha vida. Agradeço por sempre confiarem em meu julgamento e nunca duvidarem de minhas capacidades. Admiro muito a humildade e a força de espírito que vocês demonstraram durante todos os momentos ao longo da nossa vida.

Agradeço à minha irmã, Jocinara Carbonera, pelos momentos felizes que pudemos compartilhar até hoje e pelos que ainda virão.

Agradeço à minha namorada, Marina Dal ponte, pela paciência demonstrada durante a finalização deste projeto, um período repleto de turbulências e inconstâncias. Agradeço também (principalmente) por todos os vários e constantes momentos felizes que vivemos juntos. Esses momentos foram determinantes para continuar o trabalho com energia renovada.

Agradeço aos grandes amigos que tive o prazer de encontrar nessa vida: Alison Seben, Douglas Ceccagno, Fábio Valle, Jônatas Luis Maria, Juliana Soares, Juliano Fontanive Dupont, Rafael (Teclas) Vignatti, Renata Todeschini e Vagner Perondi. Esses grandes sujeitos são uma fonte de motivação constante. São pessoas incríveis, de uma sensibilidade singular e intelectualmente instigantes. Muito do que sou hoje eu devo à convivência com estas pessoas fantásticas.

Agradeço a todos os membros do grupo BDI e à equipe da Endeeper: Alexandre Lorenzatti, Ariane Bernardes, Carlos Santin, Eduardo Castro, Gabriel Moser, Guilherme Schievelbein, Douglas Eduardo Rosa, Oscar Paesi da Silva, Ricardo Linck, Ricardo Werlang, Sabrina Aparecida Queiroz, Sandro Rama Fiorini, Vitor Fortes Rey e todos os demais. Todos são pessoas fantásticas que proporcionaram um ambiente de pesquisa bastante profícuo. Agradeço em especial ao Alexandre, amigo desde a graduação na UCS, e ao Sandro, um amigo que conheci na UFRGS, durante a estadia no BDI. Ambos foram fundamentais para a realização deste trabalho e para o desenvolvimento do entendimento do meu tema de pesquisa. Agradeço pelas conversas prolíficas, pelos longos e reveladores debates filosóficos, pelas dicas e sugestões e também pelos momentos lúdicos que tornaram a realização desse trabalho ainda mais agradável. Também é importante destacar a importância do trabalho realizado pela Ariane e pelo Eduardo durante o desenvolvimento deste projeto. Ambos desempenharam um papel fundamental, me auxiliando a andar pela Estratigrafia Sedimentar, um território um tanto desconhecido para um cientista da computação. A ajuda de ambos foi determinante em fases chave deste projeto.

Agradeço ao professor Rualdo Menegat, do departamento de Geociências da UFRGS, primeiramente por permitir que eu participasse da saída a campo que ele proporcionou

para os alunos de uma disciplina que ele ministrara. Esta saída a campo foi uma grande oportunidade para levantamento de dados que desempenharam um papel chave neste projeto. Em segundo lugar, agradeço por permitir que eu assistisse às suas aulas, que foram fundamentais para o entendimento de aspectos importantes da Geologia. Em terceiro lugar, agradeço pela paciência e disposição que ele demonstrou, explicando os meandros do seu domínio de especialidade a um leigo. Foi uma grande satisfação encontrar o professor Rualdo neste trajeto.

Agradeço também à professora Karin Goldberg, também do departamento de Geociências da UFRGS, por permitir que eu assistisse às suas aulas durante um semestre. Esta experiência também constitui uma grande oportunidade para coletar dados importantes para o desenvolvimento deste projeto.

Agradeço ao professor Claiton Marlon dos Santos Scherer, do departamento de Geociências da UFRGS, co-orientador deste trabalho, pelo tempo dedicado e pela disposição em participar de todas os momentos necessários para a realização deste projeto. Agradeço pela paciência necessária durante as conversas sobre assuntos da sua especialidade com um leigo, e por não desistir deste diálogo, apesar das dificuldades envolvidas.

E, finalmente, agradeço à professora Mara Abel, orientadora deste trabalho. Eu não seria capaz de listar todas as razões pelas quais eu gostaria de agradecer à Mara. De qualquer forma, agradeço pela paciência, por compartilhar suas experiências comigo neste trabalho, por me ajudar a sair de eventuais pântanos em que adentrei desavisadamente no caminho. Agradeço também por proporcionar um ambiente agradável de trabalho.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> . . . . .	9
<b>LISTA DE FIGURAS</b> . . . . .	10
<b>LISTA DE TABELAS</b> . . . . .	12
<b>RESUMO</b> . . . . .	13
<b>ABSTRACT</b> . . . . .	14
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	15
1.1 Organização dos capítulos . . . . .	21
<b>2 ABORDAGENS COMPUTACIONAIS PARA TRATAMENTO DE CO- NHECIMENTO VISUAL</b> . . . . .	23
2.1 Abordagem 1: Plataforma de visão cognitiva para reconhecimento de objetos naturais complexos . . . . .	23
2.2 Abordagem 2: Interpretação semântica de gráficos . . . . .	24
2.3 Abordagem 3: Interpretação do grau de compactação de uma rocha . . . . .	26
2.4 Abordagem 4: Interpretação e ordenação de eventos paragenéticos . . . . .	26
<b>3 FUNDAMENTOS COGNITIVOS</b> . . . . .	28
3.1 Raciocínio . . . . .	28
3.1.1 Perspectiva da Filosofia . . . . .	28
3.1.2 Perspectiva da Psicologia . . . . .	31
3.2 Percepção, perícia e os pacotes perceptuais . . . . .	36
3.3 Percepção visual e cognição . . . . .	38
3.3.1 Visão e percepção visual de objetos . . . . .	38
3.3.2 A percepção e as paronomias . . . . .	39
<b>4 ONTOLOGIAS</b> . . . . .	40
4.1 Ontologia de fundamentação: UFO . . . . .	41
<b>5 TÉCNICAS DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO</b> . . . . .	50
5.1 Imersão na literatura . . . . .	50
5.2 Entrevistas não estruturadas . . . . .	50
5.3 Entrevistas estruturadas . . . . .	51
5.4 Técnicas de observação . . . . .	52
5.5 Limitação de informações e restrição de processamento . . . . .	52

<b>6</b>	<b>ESTRATIGRAFIA SEDIMENTAR</b>	54
6.1	Visão geral da Estratigrafia Sedimentar	54
6.1.1	Tarefa de interpretação de processos deposicionais	59
6.2	Particularidades do conhecimento da Estratigrafia Sedimentar	60
<b>7</b>	<b>O PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO</b>	65
7.1	Fases do processo de aquisição de conhecimento	65
7.1.1	Planejamento	66
7.1.2	Imersão na literatura	67
7.1.3	Entrevistas não estruturadas	68
7.1.4	Entrevistas estruturadas	70
7.1.5	Técnicas de observação	71
7.1.6	Limitação de informações	72
7.2	Apresentação geral dos resultados obtidos	77
7.2.1	Características do domínio	77
7.2.2	Conhecimento inferencial para interpretação de processos deposicionais	82
7.2.3	Modelo de raciocínio para resolução de problemas na Estratigrafia Sedimentar	83
7.2.4	Refinamento da ontologia prévia	85
<b>8</b>	<b>ONTOLOGIA DE DOMÍNIO PARA ESTRATIGRAFIA SEDIMENTAR</b>	88
8.1	Apresentação da ontologia de domínio	89
<b>9</b>	<b>ABORDAGEM PARA RESOLUÇÃO DE TAREFAS DE INTERPRETAÇÃO VISUAL</b>	99
9.1	Pacote Visual: Modelo de estrutura para representação de conhecimento inferencial para tarefas de interpretação visual	99
9.1.1	Caracterização	101
9.2	Modelo de raciocínio para interpretação visual de eventos geradores	104
<b>10</b>	<b>APLICAÇÃO: INTERPRETAÇÃO DE PROCESSOS DEPOSICIONAIS</b>	111
10.1	Validação	114
<b>11</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	118
11.1	Principais contribuições e resultados	119
11.1.1	Abordagem para resolução de tarefas de interpretação visual	119
11.1.2	Abordagem para aquisição de conhecimento visual e refinamento de ontologias	122
11.1.3	Outros resultados	123
11.2	Principais dificuldades enfrentadas	123
11.3	Sugestões para trabalhos futuros	124
	<b>REFERÊNCIAS</b>	127
	<b>APÊNDICE A APLICAÇÃO DA ABORDAGEM DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO VISUAL E REFINAMENTO DE ONTOLOGIAS</b>	134
A.1	Material e método utilizado	134
A.2	Resultados obtidos	135
A.2.1	Conjunto de descrições do afloramento 1 - CDA1	135

A.2.2	Conjunto de descrições do afloramento 2 - CDA2 . . . . .	136
A.3	<b>Discussão dos resultados</b> . . . . .	136
<b>APÊNDICE B</b>	<b>CASOS DE VALIDAÇÃO</b> . . . . .	137
<b>APÊNDICE C</b>	<b>CLASSES PARA REPRESENTAÇÃO DA ONTOLOGIA</b> .	141
<b>APÊNDICE D</b>	<b>CLASSES PARA REPRESENTAÇÃO DE PACOTES VI- SUAIS</b> . . . . .	142

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFO	<i>Unified Foundational Ontology</i>
PSM	<i>Problem-Solving method</i>
CDA1	Conjunto de descrições do afloramento 1
CDA2	Conjunto de descrições do afloramento 2

## LISTA DE FIGURAS

2.1	Representação gráfica de uma série temporal financeira. Adaptada de (FIORINI, 2009) . . . . .	25
3.1	Representação esquemática da teoria heurística-analítica do raciocínio humano. Traduzida de (EVANS, 2006) . . . . .	33
3.2	Representação esquemática da teoria heurística-analítica do raciocínio humano, em uma versão revisada. Traduzida de (EVANS, 2006) . . . . .	34
4.1	Fragmento da UFO que representa as distinções fundamentais entre urelement e conjunto, e entre universal e indivíduo (GUIZZARDI, 2005) . . . . .	42
4.2	Fragmento da UFO que representa as distinções entre universais ocorrentes e duradouros, e entre universais de substância e universais de momento, bem como as mesmas distinções em relação aos indivíduos (GUIZZARDI, 2005) . . . . .	44
4.3	Fragmento da UFO que representa as distinções entre Momentos intrínsecos e momentos relacionais (GUIZZARDI, 2005) . . . . .	45
4.4	Representação da relação entre universais de substância, universais de qualidade e dimensões de qualidade. Nesta figura, $i$ representa uma relação de inerência, no sentido de que o indivíduo de qualidade $p$ é inerente ao indivíduo de substância $m$ . Já $ql$ representa a relação entre o indivíduo de qualidade $p$ e um quale $q$ , que representa o seu valor, na dimensão da qualidade. Figura adaptada de (GUIZZARDI, 2005) . . . . .	48
4.5	Representação de fragmento da UFO que apresenta a taxonomia de universais de substância (GUIZZARDI, 2005) . . . . .	49
6.1	Exemplo de afloramento de rocha. Extraída de (PRESS et al., 2004) . . . . .	55
6.2	Exemplo de testemunho de sondagem. Adaptada de (CASTRO; PERINOTTO; CASTRO, 1999) . . . . .	56
6.3	Esquema em que são representados os diversos ambientes sedimentares e suas localizações. Extraído de (PRESS et al., 2004) . . . . .	57
6.4	Exemplo de testemunho de sondagem, em escala, com duas fácies destacadas. Adaptada de (LORENZATTI, 2009) . . . . .	58
6.5	Exemplo de estrutura sedimentar, retirado de (COLLINSON, 2005) . . . . .	59
6.6	Exemplo de estrutura sedimentar, retirado de (COLLINSON, 2005) . . . . .	60
6.7	Exemplo de estrutura sedimentar, retirado de (COLLINSON, 2005) . . . . .	61

6.8	Modelo esquemático informal do domínio, apresentando os principais objetos e como eles estão relacionados do ponto de vista da interpretação realizada pelos geólogos . . . . .	62
6.9	Esquema que sistematiza as diversas escalas de análise dos fenômenos na Estratigrafia Sedimentar, adaptado de (FÁVERA, 2001) . . . . .	63
7.1	Processo convencional de interpretação visual de processos deposicionais a partir da observação visual de fácies . . . . .	73
7.2	Processo de revisão da ontologia de domínio guiado por resolução de problemas em contextos de informação limitada. . . . .	75
8.1	Fácies Sedimentar e seus atributos . . . . .	92
8.2	Estrutura Sedimentar, seus tipos básicos e as relações com a Fácies Sedimentar . . . . .	93
8.3	Estruturas Depositionais e suas qualidades . . . . .	94
8.4	Taxonomia visual de Estruturas deposicionais . . . . .	95
8.5	Relação entre Fácies Sedimentar e Processo Depositional . . . . .	97
8.6	Taxonomia de processos deposicionais . . . . .	98
9.1	Representação gráfica de um pacote visual . . . . .	105
9.2	Representação da especificação operacional do modelo de raciocínio para interpretação visual de eventos geradores . . . . .	107
9.3	Método para resolução da tarefa de interpretação visual de eventos geradores . . . . .	109
9.4	Esquema de domínio para o modelo de raciocínio para resolução da tarefa de interpretação visual de eventos geradores . . . . .	110
10.1	Representação gráfica de um pacote visual definido no domínio, para interpretação visual do processo de migração de barras longitudinais a partir do exame visual de fácies sedimentares . . . . .	115
B.1	Caso 1: Descrição detalhada de afloramento da bacia de Kyongsang, na Coreia do Sul. Cada fácies está associada às interpretações correspondentes, oferecidas pela literatura e pelo sistema. . . . .	138
B.2	Caso 2: Descrição detalhada de afloramento da formação Barreiras, no estado brasileiro do Rio de Janeiro. Cada fácies está associada às interpretações correspondentes, oferecidas pela literatura e pelo sistema. . . . .	139
B.3	Caso 3: Descrição detalhada de afloramento de Salt Range, no Paquistão. Cada fácies está associada às interpretações correspondentes, oferecidas pela literatura e pelo sistema. . . . .	140
C.1	Diagrama de classes utilizadas para representar a ontologia na aplicação desenvolvida . . . . .	141
D.1	Diagrama de classes utilizadas para representar pacotes visuais na aplicação desenvolvida . . . . .	143

## LISTA DE TABELAS

3.1	Perspectivas duais sobre o raciocínio humano . . . . .	35
7.1	Exemplo de descrição de fácies encontrada na literatura. Descrição não estruturada . . . . .	76
7.2	Exemplo de descrição de fácies submetida ao especialista. Estruturada de acordo com a ontologia em desenvolvimento . . . . .	76
7.3	Novos termos da ontologia de domínio . . . . .	85
10.1	Análise dos resultados do processo de avaliação . . . . .	117
11.1	Novos termos da ontologia de domínio . . . . .	123

## RESUMO

Domínios imagísticos são os domínios nos quais a resolução de problemas inicia com um processo de reconhecimento dos objetos de domínio a partir da informação visual capturada, suportando interpretações mais abstratas em eventuais etapas subsequentes. A resolução de problemas, em domínio imagísticos, demanda dos especialistas a aplicação intensiva de conhecimento visual, que corresponde ao conjunto de modelos mentais que suportam o processo de raciocínio sobre a informação associada ao arranjo espacial e outros aspectos visuais das entidades do domínio. O conhecimento visual geralmente corresponde à porção tácita do conhecimento dos praticantes do domínio, de modo que ele geralmente é utilizado de modo inconsciente, resistindo à verbalização explícita. Estas características do conhecimento visual são desafiadoras do ponto de vista de Engenharia do Conhecimento. O objetivo geral deste trabalho é delinear uma abordagem integrada para aquisição, modelagem, representação e raciocínio sobre conhecimento visual, do ponto de vista da Engenharia do Conhecimento.

A interpretação visual é uma tarefa comum em domínios imagísticos, cuja resolução demanda dos especialistas um raciocínio que envolve a realização de um processo cognitivo que inicia com a percepção visual direta de características dos objetos já conhecidos no domínio, e que resulta em compreensões mais abstratas da cena observada, tais como: comportamentos dinâmicos dos objetos da cena, significado do contexto da cena, causas ou efeitos do estado de coisas capturado pela cena, etc. Desta forma, para realizar o objetivo geral, este trabalho assume como objetivo específico estudar e modelar o processo de raciocínio utilizado pelos especialistas para resolver tarefas de interpretação visual, bem como as próprias estruturas para representação de conhecimento inferencial utilizadas pelos especialistas em domínios imagísticos durante a realização deste tipo de tarefa.

Os principais resultados deste trabalho são um modelo de raciocínio para resolução de tarefas de interpretação visual; um modelo de estrutura para representação de conhecimento inferencial, cognitiva e filosoficamente fundamentada, chamada pacote visual; e uma abordagem para aquisição de conhecimento visual e refinamento de ontologias.

O estudo foi conduzido no domínio da Estratigrafia Sedimentar, com foco na tarefa de interpretação visual de processos deposicionais geradores de fácies sedimentares. Os modelos desenvolvidos no trabalho foram testados no domínio, alcançando resultados satisfatórios. Para isto, realizou-se também o refinamento de uma ontologia de domínio. Este processo foi realizado através da aplicação de diversas técnicas de aquisição de conhecimento em sessões com o especialista.

**Palavras-chave:** Engenharia do Conhecimento, Conhecimento Visual, Modelos de Conhecimento, Modelagem Cognitiva, Raciocínio, Ontologia.

## Reasoning over visual knowledge: a study in Sedimentary Stratigraphy

### ABSTRACT

Imagistic domains are those in which problem-solving process begins with the recognition of domain objects through the visual information captured, supporting more abstract interpretations in subsequent steps. The problem-solving process, in imagistic domains, is performed through intensive application of visual knowledge, which corresponds to the set of mental models that support the process of reasoning about the information of the spatial arrangement and other visual aspects of the domain entities. The visual knowledge corresponds to a tacit kind of knowledge of practitioners in the field, so it is often used unconsciously, resisting to explicit verbalization. These characteristics of visual knowledge are challenging from the standpoint of Knowledge Engineering. The general aim of this work is to outline an integrated approach to acquisition, modeling, representation and reasoning, to handle visual knowledge, from the standpoint of Knowledge Engineering.

The visual interpretation is a common task in imagistic domains, whose resolution demands a reasoning that involves a cognitive process that starts with the direct perception of visual features of objects, and results in abstract understandings of observed scene, such as dynamic behavior of objects in the scene, the meaning of the context of the scene, causes or effects of the state of affairs captured in the scene, etc. Thus, to achieve the overall goal, this work takes as a specific aim to study and model the reasoning process used by experts to solve tasks of visual interpretation, as well as the inferential knowledge structures applied by experts in imagistic domains to accomplish this type of task.

The main results of this work are a model of reasoning for solving tasks of visual interpretation; a cognitive grounded model of structure for inferential knowledge representation, called visual chunk; and an approach to visual knowledge acquisition and refinement of ontologies, which explores the reasoning used by the expert as a tool to reveal the lack of important terms in the domain ontology.

The study was conducted in the field of sedimentary stratigraphy, focusing on the task of visual interpretation of depositional processes responsible by the generation of sedimentary facies. The models developed in this work was tested in the domain, achieving satisfactory results. In order to apply our approach, a refinement of domain ontology was performed. This process was carried out by applying several techniques of knowledge acquisition in sessions with the expert.

**Keywords:** Knowledge Engineering, Visual knowledge, Knowledge Models, Cognitive Modeling, Reasoning, Ontology.

# 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos ocorreram diversas melhorias nas tecnologias de rede e na capacidade de transmissão e armazenamento de informação, aliadas ao barateamento dos computadores domésticos, a um crescente uso da internet e à popularização de dispositivos de captura de dados. Estes fatores possibilitaram um grande aumento na produção, no armazenamento e na disponibilização de informações visuais, na forma de imagens e vídeos digitais. Estas possibilidades beneficiam o usuário em geral, mas adquirem ainda mais importância em domínios do conhecimento em que esta informação visual constitui um recurso indispensável para a resolução de problemas e tomada de decisão.

Na tarefa de vigilância, a partir da informação visual capturada, se faz necessário o reconhecimento de diferentes objetos da cena (como pessoas, veículos, armas, entre outras entidades) para interpretar a ocorrência de possíveis eventos hostis (WITHAGEN, 2005). No domínio da Medicina, a partir da análise de informações representadas em imagens de raios-X e eletroencefalograma, o médico é capaz de identificar patologias e decidir procedimentos adequados de tratamento (OGIELA; TADEUSIEWICZ, 2003). Na Geologia, a partir da informação visual capturada durante a inspeção visual de uma rocha, o geólogo é capaz de identificar feições visuais de interesse, a partir das quais ele interpreta a ocorrência de eventos geológicos e formação de reservatórios de riquezas naturais (LORENZATTI et al., 2010; FIORINI; ABEL; SCHERER, 2011); etc. A vigilância, a Medicina e a Geologia são exemplos de domínios imagísticos (YIP; ZHAO, 1996), que são caracterizados pela *realização de tarefas que envolvem uma etapa inicial de reconhecimento dos objetos do domínio a partir de informação visual*. Para realizar tais tarefas, os especialistas de domínios imagísticos fazem uso intensivo de conhecimento visual, *que corresponde ao conjunto de modelos mentais que suportam o processo de raciocínio sobre a informação associada ao arranjo espacial e outros aspectos visuais das entidades do domínio, tais como cor e forma* (LORENZATTI et al., 2010).

A ampla oferta de informações visuais excede a capacidade humana de analisá-las e gerar conhecimento útil a partir desta análise. Deste modo, coloca-se a necessidade de avanços tecnológicos e científicos no sentido de se desenvolver abordagens de apoio ao processamento desta informações. No entanto, o tratamento computacional de informações visuais envolve a superação de diversos desafios. A maior parte destes desafios deriva do fato de que o conhecimento visual corresponde à porção tácita do conhecimento dos especialistas de domínio. O conhecimento tácito (POLANYI, 1966), constitui um tipo de conhecimento que é utilizado de modo inconsciente e automatizado pelo indivíduo e que resiste à explicitação verbal. Esta natureza do conhecimento visual levanta problemas associados tanto a sua aquisição, a sua representação computacional e ao raciocínio, dificultando a aplicação de recursos computacionais ao processamento de

informações visuais.

A informação visual, preponderantemente disponibilizada na forma de imagens ou vídeos digitais, não possui estruturação semântica intrínseca, ou seja, os significados das imagens não estão nas imagens, mas são atribuídos por um interpretador, em função do seu conhecimento e do seu objetivo ao interpretar a imagem (HUDELOT; MAILLOT; THONNAT, 2005). O significado, portanto, não é diretamente derivado das propriedades mensuráveis da imagem, o que impõe diversos desafios ao processamento computacional desta informação, de um modo que seja significativo e, conseqüentemente, útil para os seres humanos. Neste contexto, investigações recentes na Ciência da Computação têm se focado em dois aspectos que surgem articuladamente como componentes deste empreendimento desafiador.

O primeiro aspecto diz respeito à elaboração de construtos de representação que capturem a maneira através da qual os seres humanos abstraem significativamente a informação visual codificada em imagens. Iniciativas que abordam esta questão geralmente o fazem através da proposta de representações simbólicas computacionalmente processáveis, associadas a uma semântica bem definida. Nos últimos anos, as ontologias surgiram como uma alternativa amplamente utilizada para especificar estas representações simbólicas, mostrando resultados satisfatórios, uma vez que elas oferecem a vantagem de capturar conhecimento compartilhado e de forma explícita nestas formalizações simbólicas. Trabalhos recentes (LORENZATTI et al., 2010) propõem ontologias de representação que combinam representações proposicionais com representações pictóricas para capturar o conhecimento visual do domínio de uma forma mais completa, possibilitando a representação da porção do conhecimento que resiste à verbalização e, conseqüentemente, à representação simbólica, mas que pode ser representada através de ilustrações icônicas. Neste cenário, as ilustrações icônicas desempenham um papel importante porque elas registram na própria representação alguns estímulos sensoriais relacionados à entidade representada, de forma que referenciam a entidade representada por semelhança, diferentemente do que ocorre com representações simbólicas, que referenciam a entidade representada por meio de uma convenção social.

O segundo aspecto diz respeito à elaboração de abordagens para superar a *lacuna semântica* existente entre as informações visuais brutas, capturadas em imagens, e as representações simbólicas semanticamente significativas correspondentes a tais informações. Esta questão está associada ao problema de se estabelecer e manter a relação entre os dados sensoriais e os símbolos abstratos correspondentes, em sistemas de símbolos físicos. A literatura refere-se a este problema como o problema do ancoramento simbólico (*Symbol Grounding problem*) (HARNAD, 1990). Abordagens recentes (FIORINI; ABEL; SCHERER, 2011) propõem o uso de ontologias que descrevem explicitamente o conhecimento compartilhado em diversos níveis semânticos, juntamente com algoritmos de processamento de imagens e mecanismos que estabelecem e mantêm a relação de correspondência entre as informações visuais cruas ao longo dos diversos níveis semânticos. O objetivo destas abordagens é, a partir das descrições visuais dos dados brutos, encontrar as representações que lhes atribuem o significado. Estas descrições visuais são realizadas em função de uma ontologia que descreve entidades visuais gerais (como pontos, linhas, curvas, etc). A detecção das descrições simbólicas nos dados brutos da imagem é realizada através do disparo de algoritmos de processamento de imagens, devidamente associados a cada uma das primitivas que se deseja detectar na imagem.

Uma vez estabelecida uma representação semântica adequada da informação visual bruta, e estabelecida a relação entre a representação semântica e a informação visual

correspondente, é possível processar estas representações semânticas para suportar a tomada de decisão no domínio. O objetivo é realizar este processamento de uma forma que reflita as habilidades dos especialistas humanos que realizam estas atividades, determinando interpretações abstratas a partir da percepção visual direta dos objetos de domínio. Atingir este objetivo pode ser visto como um terceiro problema que se articula com o da representação semântica e com o do ancoramento simbólico. Neste trabalho chamaremos de *interpretação visual o raciocínio que envolve a realização de um processo cognitivo que inicia com a percepção visual direta de características dos objetos já conhecidos no domínio, e que resulta em compreensões mais abstratas da cena observada*, como por exemplo, causas ou efeitos do estado de coisas capturado pela cena. Este processo ocorre quando o sujeito alcança conclusões de um modo imediato, a partir da percepção visual, sendo que os objetos da conclusão transcendem a cena percebida. Deste modo, o processo de interpretação visual difere de um processo de reconhecimento ou identificação de objetos na cena. Um exemplo ilustrativo e bem conhecido de interpretação visual, neste sentido, é relatado na literatura de estudos cognitivos da perícia em xadrez, quando afirma-se que o mestre enxadrista literalmente “vê” o próximo movimento a partir da observação do tabuleiro (GOBET; SIMON, 1998). São exemplos de ocorrência deste processo: a interpretação imediata dos sintomas do paciente, que guia a ação do médico em uma emergência; a interpretação imediata de uma patologia a partir da percepção de certas marcas visuais em uma radiografia; a interpretação imediata do processo de formação de uma rocha a partir da percepção visual de padrões nessa rocha, etc.

A realização do processo de interpretação visual em computadores, de forma automática, esbarra em uma série de desafios, uma vez que o modo através do qual os tomadores de decisões realizam interpretações visuais ainda é mal compreendido. Buscando elucidar características deste processo, em (GROOT; GOBET, 1996) *apud* (GOBET; LANE, 2010) afirma-se que “cognição é percepção”. Segundo estes autores, ao longo do desenvolvimento da perícia nestes domínios, os especialistas desenvolvem abstrações dinâmicas de padrões de configurações visuais de objetos e suas características de interesse, que são associadas a interpretações abstratas, de modo que a resolução de problemas, em estágios avançados de perícia, é guiada pelo reconhecimento imediato destes padrões abstratos. Estudos nessa linha reconhecem que a perícia na resolução de problemas em domínios imagísticos é fortemente influenciada pela percepção, de modo que o resultado da resolução de problemas torna-se uma função da capacidade da percepção direta de certas configurações visuais de objetos de interesse, que apresentam aparências específicas.

Este cenário desafia as técnicas computacionais tradicionalmente utilizadas para lidar com informações visuais, tais como técnicas baseadas em processamento de imagens e aprendizado de máquina. As abordagens baseadas em processamento de imagens, tais como (WU; AI, 2008), envolvem o processamento de dados visuais brutos, codificados em imagens, e geralmente são utilizadas para fins de reconhecimento de objetos ou aparências visuais de interesse. Este processamento envolve a elaboração de modelos matemáticos da aparência das feições de domínio diagnósticas das interpretações almejadas. Assim, as interpretações de interesse são alcançadas através da manipulação matemática do sinal bidimensional que representa a imagem, em função dos modelos matemáticos estabelecidos. Estas abordagens não apresentam bons resultados em cenários em que os padrões visuais do domínio correspondem a abstrações mentais de percepções visuais realizadas pelos especialistas, e que constituem conhecimento tácito.

Estas características dos padrões dificultam o desenvolvimento de modelos matemáticos efetivos das feições de domínio, uma vez que o conhecimento que abstrai a variabilidade das possíveis aparências visuais destas feições resistem à externalização verbal.

Abordagens baseadas em aprendizado de máquina, tais como (MOKHTARZADE; ZOEJ, 2007), buscam desenvolver automaticamente modelos computacionais que generalizam os padrões visuais significativos associados à aparência dos objetos do domínio. Tais abordagens possibilitam o aprendizado automático de um modelo implícito dos padrões visuais significativos no domínio, que pode ser utilizado posteriormente para classificação de novas instâncias não consideradas durante o treinamento do modelo. As abordagens de aprendizado de máquina, como as redes neurais, diferem substancialmente das abordagens simbólicas. Enquanto nas primeiras, o conhecimento é representado implicitamente, como padrões de pesos nas associações de diversas unidades distribuídas de processamento (sinapses entre neurônios artificiais), nas abordagens simbólicas, o conhecimento é representado explicitamente, na forma de declarações simbólicas (que representam relações entre conceitos, propriedades e relações) e regras que as manipulam. Em muitos trabalhos, técnicas de aprendizado de máquina são aplicadas diretamente sobre os dados brutos da imagem. Nestes casos, são associadas a técnicas de processamento de imagens que realizam o pré-processamento da imagem, evidenciando certas características visuais importantes, na medida em que filtram características irrelevantes para os propósitos considerados. Assim, tais abordagens possuem pontos fracos semelhantes aos apresentados pelas abordagens baseadas em processamento de imagens. Em certos domínios, como a Estratigrafia Sedimentar (que constitui o foco deste trabalho), os padrões visuais observados pelos geólogos apresentam um espectro muito amplo de variações possíveis. No caso específico da Estratigrafia Sedimentar, esse espectro amplo de variações possíveis do padrão visual é o resultado direto da aleatoriedade da natureza (ABEL, 2001). Deste modo, estabelecer a distinção entre o que é o ruído e o que é o sinal, apenas a partir dos dados visuais analisados, constitui uma tarefa não trivial. Os especialistas humanos, por outro lado, ao longo da sua experiência empírica no domínio, elaboram modelos mentais que constituem abstrações destes padrões visuais. Estes modelos mentais abarcam abstratamente esta ampla variação do padrão, possibilitando que o especialista reconheça uma feição visual significativa assim que a observa. Estes modelos mentais, conforme já mencionado, constituem o conhecimento tácito do especialista e resistem à verbalização. Além disso, ainda há outro fator complicador que deve ser considerado. A eficácia destas abordagens depende também de um conjunto de treinamento suficientemente amplo e significativo, para permitir a convergência do aprendizado. Em certos domínios, como a Estratigrafia Sedimentar, esta oferta de dados não se confirma, uma vez que a maior parte dos dados constituem informações estratégicas sigilosas de empresas que exploram comercialmente o domínio. Deste modo, a aplicação prática destas técnicas é inviabilizada em domínios com as características supracitadas, o que encoraja o uso de abordagens *top-down* como as propostas pela Engenharia do Conhecimento, que focam-se em adquirir, modelar e representar computacionalmente o conhecimento abstrato dos especialistas, de modo que seja possível aproveitar os modelos resultantes para oferecer soluções automatizadas para as tarefas do domínio.

As investigações realizadas no contexto da Engenharia do Conhecimento também ainda não resultaram em soluções satisfatórias, no sentido de incorporar de forma fundamentada os relacionamentos entre evidências e interpretações, que suportam o raciocínio especialista, nas estruturas de representação do conhecimento inferencial

utilizado em tarefas de interpretação visual. Neste trabalho, assumimos que conhecimento inferencial diz respeito ao conhecimento utilizado para derivar novo conhecimento, bem como o próprio modelo do raciocínio que utiliza este conhecimento (ABEL, 2001). O presente trabalho constitui um esforço no sentido de propor estruturas para representação de conhecimento inferencial que reflitam de modo mais estreito o conhecimento inferencial utilizado pelo especialista em tarefas de interpretação visual em domínios imagísticos. Estas estruturas devem permitir a modelagem e implementação computacional dos processos de raciocínio empregados pelos especialistas na resolução de tarefas de interpretação visual.

A investigação realizada durante este trabalho foi conduzida no domínio da Estratigrafia Sedimentar, uma sub-área da Geologia que preocupa-se em estudar as diversas unidades de rocha que formam o planeta e em compreender os processos responsáveis pela formação e evolução destas formações. Neste domínio, a partir do exame visual de certas características de um corpo de rocha, os geólogos são capazes de interpretar o processo responsável pela formação deste corpo de rocha. Este tipo de tarefa constitui uma instância de tarefa de *interpretação visual de eventos geradores da entidade observada*, que consideramos aqui como um sub-tipo tarefa de interpretação visual, como definida anteriormente. Um dos objetivos específicos deste trabalho é compreender e modelar o método de raciocínio utilizado pelos especialistas em Estratigrafia Sedimentar, bem como as estruturas de conhecimento que dão suporte a esta tarefa, permitindo a mimetização computacional das habilidades de interpretação visual destes especialistas. Esperamos também, com isso, que o conhecimento levantado nesta investigação possa ser útil para a compreensão e modelagem de outras tarefas de interpretação visual em outros domínios.

Este trabalho dá continuidade ao projeto Obaitá, desenvolvido pelo grupo BDI (grupo de Bancos de Dados Inteligentes, da UFRGS), que tem como objetivo investigar abordagens para aquisição, representação e raciocínio sobre conhecimento visual. Nas etapas anteriores deste projeto (LORENZATTI, 2009), foi iniciado o desenvolvimento de uma ontologia de domínio para a Estratigrafia Sedimentar, buscando contribuir para a captura e a organização do conhecimento compartilhado do domínio. Neste trabalho, pretendemos continuar o desenvolvimento desta ontologia, considerando conceitos do domínio que foram negligenciados nas etapas anteriores.

A organização do conhecimento é um empreendimento por si só complexo no domínio da Estratigrafia Sedimentar, uma vez que ele é notoriamente rico em problemas com os quais a Engenharia do Conhecimento e a Engenharia de Ontologias lidam. Entre estes problemas pode-se destacar a existência de termos que acumulam diversos significados associados, a existência de diversos termos em uso corrente que possuem um mesmo significado e, ainda, a inexistência de termos para representação de aspectos do domínio, que desempenham papéis fundamentais no processo de interpretação realizado pelos geólogos. Estas características inserem diversos desafios na tarefa do engenheiro de conhecimento. Ainda considerando a terminologia da área, há uma última característica do domínio que é do interesse deste trabalho. A Estratigrafia Sedimentar envolve dois tipos de tarefas: tarefas descritivas e tarefas interpretativas. Nas tarefas descritivas, o geólogo precisa descrever aquilo que ele efetivamente observou visualmente no domínio. Ou seja, ele precisa descrever suas experiências visuais com os objetos do domínio. Nas tarefas interpretativas o geólogo realiza interpretações dessas observações. No entanto, na literatura do domínio, e mesmo na comunicação corrente entre os praticantes da área, pode-se constatar a ocorrência de uma sobreposição terminológica correspondente

às atividades descritivas e interpretativas. Esta sobreposição implica em alguns efeitos negativos a longo prazo. Por exemplo, a utilização de termos híbridos acaba ocultando a descrição da observação que suportou a interpretação, de um modo que a observação acaba não sendo disponibilizada objetivamente para que outros geólogos possam realizar suas próprias interpretações. O Projeto Obaitá incorpora o compromisso de sistematizar esta distinção entre a terminologia descritiva e a terminologia interpretativa, assumindo que dados descritivos possuem mais utilidade a longo prazo, por resistirem às mudanças das teorias do domínio nas quais as interpretações são fundamentadas. O presente trabalho também pretende contribuir na realização destes objetivos.

Neste trabalho, assumimos as seguintes hipóteses:

- Considerando que *uma ontologia é uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada* (STUDER; BENJAMINS; FENSEL, 1998), assumimos que uma ontologia para domínios imagísticos deve capturar a conceitualização que abstrai feições visuais necessárias para suportar os processos de resolução de problemas. Ou seja, assumimos que os termos oferecidos pela ontologia em domínios imagísticos não servem apenas para estruturar os discursos realizados no domínio, mas também para estruturar as inferências durante a resolução das tarefas. Métodos convencionais de eliciação de conhecimento baseados em entrevistas são eficazes em capturar o vocabulário utilizado na comunicação, porém falham em evidenciar o conhecimento que dá suporte ao raciocínio que tem natureza parcialmente tácita. A implementação dos métodos de solução de problemas utilizados pelos especialistas para realizar a interpretação estratigráfica exige a explicitação de todos os termos que representam conceitos de domínio que sustentam os passos de inferência, o que inclui a necessidade de se evidenciar objetos ocultos e atributos visuais sem nome. Com isto em mente, neste trabalho pretende-se utilizar o raciocínio especialista para validar a completude da ontologia capturada para a interpretação de processos deposicionais, de modo que, conseqüentemente, atue como uma ferramenta para evidenciar a falta de termos que representam conceitos importantes na ontologia de domínio.
- A tarefa de interpretação visual é realizada por um processo de raciocínio que manipula conhecimento estruturado em função da ontologia de domínio.
- O conhecimento inferencial utilizado na realização de tarefas de interpretação visual é construído a partir da conceitualização de domínio representada pela ontologia.

Considerando estas hipóteses, definimos o objetivo geral deste trabalho como a investigação de uma abordagem para aquisição, representação e raciocínio capaz de lidar com o conhecimento visual. Este objetivo amplo envolve a realização de três objetivos específicos principais:

- Investigar as estruturas cognitivas, bem como suas propriedades, que possibilitam que os especialistas de domínio realizem as tarefas de interpretação visual e propor estruturas de representação de conhecimento inferencial que preservem estas características.
- Investigar o processo de raciocínio utilizado pelos especialistas para realizar a interpretação visual e propor um modelo abstrato, computacionalmente implementável, deste processo.

- A partir das necessidades evidenciadas pelo processo de raciocínio aplicado pelo especialista, continuar o desenvolvimento da ontologia de domínio, mantendo a distinção entre conhecimento descritivo e conhecimento interpretativo. As demandas do processo de raciocínio serão exploradas para evidenciar a falta de representações para conhecimento importante, na ontologia de domínio.

Entre os resultados deste trabalho, apresenta-se um levantamento de aspectos cognitivos importantes, que podem ser utilizados para compreender como ocorre a tomada de decisão em domínios imagísticos. Apresenta-se também um estudo detalhado do domínio, que pode ser utilizado para guiar a elaboração de futuras abordagens computacionais para suportar as atividades realizadas nele. Além disso, é apresentada uma ontologia de domínio, em que distingue-se o conhecimento descritivo e o conhecimento interpretativo, e que oferece um conjunto de termos mais amplo para descrição visual dos objetos do domínio, que o conjunto tradicionalmente oferecido pela literatura. O conjunto de conceitos desta ontologia resultou da aplicação de técnicas de aquisição de conhecimento e, ao mesmo tempo, da utilização do processo de raciocínio do especialista como ferramenta de validação. Deste modo, o próprio processo de raciocínio utilizado pelo especialista foi utilizado para revelar o conhecimento de domínio necessário para que as interpretações fossem alcançadas. Por fim, este trabalho propõe o *Pacote Visual*, como uma estrutura para representação de conhecimento inferencial capaz de capturar, de uma forma filosófica e cognitivamente bem fundamentada, o conhecimento utilizado pelos especialistas de domínios imagísticos para realizar tarefas de interpretação visual, onde busca-se determinar que tipo de evento ocorrido foi o responsável pela geração das feições visuais observadas no domínio. Também é proposto um modelo de raciocínio para interpretação visual de eventos geradores que utiliza pacotes visuais como estruturas de representação de conhecimento inferencial. Este trabalho também explorou o papel que as ontologias de fundamentação desempenham em estruturas para representação de conhecimento inferencial e em métodos de resolução de problemas que lidam com conhecimento visual.

## 1.1 Organização dos capítulos

Este volume encontra-se organizado da seguinte forma. O capítulo 2 apresenta e discute abordagens computacionais tradicionalmente utilizadas para lidar com domínios imagísticos e tem como objetivo contextualizar o presente trabalho em relação a outros trabalhos previamente realizados. O capítulo 3 apresenta a discussão de aspectos cognitivos utilizados neste trabalho para fundamentar as propostas realizadas. O capítulo 4 apresenta o conceito de ontologia. Este capítulo também apresenta a UFO, uma ontologia de fundamentação que foi utilizada neste trabalho. O capítulo 5 apresenta uma revisão de técnicas e abordagens para aquisição de conhecimento utilizadas neste trabalho. O capítulo 6 apresenta uma visão compreensiva do domínio da Estratigrafia Sedimentar, que constitui o domínio no qual este trabalho foi conduzido. O capítulo 7 apresenta o processo de aquisição de conhecimento utilizado ao longo deste trabalho, discutindo o planejamento, as técnicas utilizadas e os resultados obtidos. O capítulo 8 apresenta a ontologia de domínio desenvolvida neste trabalho. O capítulo 9 apresenta a proposta de uma abordagem para interpretação visual. Este capítulo detalha as principais contribuições deste trabalho, na forma de uma estrutura para representação de conhecimento inferencial, chamada *Pacote Visual*, e um modelo do raciocínio para resolução da tarefa de interpretação visual. O capítulo 10 apresenta a aplicação

da abordagem proposta para interpretar processos deposicionais geradores de fácies sedimentares, no domínio da Estratigrafia Sedimentar. Este capítulo também apresenta o processo de validação da proposta neste domínio. Por fim, o capítulo 11 conclui o trabalho, discutindo os principais resultados alcançados durante a investigação e algumas perspectivas de trabalhos futuros.

## 2 ABORDAGENS COMPUTACIONAIS PARA TRATAMENTO DE CONHECIMENTO VISUAL

Neste capítulo serão revisadas abordagens computacionais geralmente utilizadas para lidar com o conhecimento visual. Conforme introduzido no capítulo 1, este trabalho foca-se no problema da interpretação visual em domínios imagísticos, como um processo fortemente guiado pelo conhecimento visual, que geralmente compreende uma porção tácita do conhecimento especialista. Estas abordagens serão analisadas em função da viabilidade de serem aplicadas em tarefas deste tipo, sob a perspectiva da Engenharia do Conhecimento, da Engenharia de Ontologias e da Modelagem Conceitual, de modo que nesta revisão serão destacados os trabalhos que tratam de representação explícita do conhecimento, com ênfase nos que utilizam ontologias para isso.

### 2.1 Abordagem 1: Plataforma de visão cognitiva para reconhecimento de objetos naturais complexos

A abordagem descrita em (HUDELOT, 2005; HUDELOT; MAILLOT; THONNAT, 2005; HUDELOT; THONNAT, 2003) tem como objetivo fundamental a interpretação semântica de objetos de interesse em imagens, focando-se no problema de estabelecer o ancoramento simbólico (*Symbol Grounding*) entre os dados brutos associados a um objeto na imagem e os símbolos de alto-nível que representam o significado abstrato destes objetos.

Para realizar a interpretação, a abordagem baseia-se em três níveis: nível semântico, nível visual, nível analógico (ou de imagem). O nível semântico é constituído por um modelo de conhecimento eliciado do especialista de domínio. O nível visual incorpora uma ontologia de conceitos visuais, independente de domínio, que representa um vocabulário comum utilizado por humanos para representar objetos e cenas: conceitos como *forma*, *tamanho* e *localização*; conceitos para *cor*, incluindo descrições de *matiz*, *luminosidade* e *saturação*; conceitos de *textura*, etc. Esta ontologia desempenha o papel de modelo intermediário entre o nível analógico e o nível semântico. O nível analógico, por sua vez, incorpora uma ontologia de conceitos imagísticos, que representa um vocabulário comum para descrever imagens do ponto de vista de um especialista em processamento de imagens. Esta ontologia inclui conceitos que representam estruturas que podem ser extraídas de imagens, como *regiões*, *arestas*, *grafos de regiões*, etc; conceitos que podem representar medidas de propriedades importantes da imagens como *área*, *posição*, etc. Esta ontologia também contém primitivas para representar o conhecimento associado a algoritmos de processamento de imagens, permitindo associar as primitivas de representação da imagem aos algoritmos que são utilizados para extraí-

las.

A abordagem prevê a realização de um mapeamento, onde primitivas de domínio são descritas em função de primitivas visuais, e estas, por sua vez, são descritas em função de primitivas do nível analógico. A interpretação ocorre através de um processo que tenta buscar conceitos do domínio, disparando requisições de busca das suas respectivas descrições visuais. A busca por descrições visuais dispara algoritmos de processamento de imagens que tentam encontrar descrições imagísticas dos conceitos visuais na imagem.

A abordagem de Hudelot busca reconhecer os objetos de interesse do domínio em imagens. Neste sentido, o problema tratado pela autora difere da natureza do problema que constitui o foco de interesse deste trabalho, que é o de estabelecer interpretações abstratas a partir de indícios visuais registrados nos objetos de domínio. Além disso, a abordagem analisada não esclarece a natureza ontológica dos objetos que podem ser ancorados. A análise de meta-propriedades, incorporadas em ontologias de fundamentação como a UFO, poderia auxiliar na determinação de quais objetos podem ser ancorados através da visão. Por fim, a abordagem não preocupa-se em refletir as características cognitivamente importantes do conhecimento inferencial utilizado para realizar os mapeamentos entre os níveis.

## 2.2 Abordagem 2: Interpretação semântica de gráficos

Em (FIORINI, 2009), é proposta uma abordagem para interpretação semântica de gráficos, aplicada para interpretar sequências e parassequências, no domínio da Estratigrafia de sequências, uma sub-área da Geologia. Esta abordagem difere das abordagens tradicionais de interpretação semântica de imagens, uma vez que a maior parte das propostas focam-se em imagens bidimensionais diretamente capturadas dos objetos do mundo, enquanto esta foca-se em imagens de visualização gráfica de dados, resultantes da projeção da variação das medidas de uma dada dimensão em função das medidas de outra. Estas representações gráficas dos dados geralmente resulta em padrões de curvas que podem possuir significados importantes no domínio. Neste sentido, esta abordagem parte do pressuposto de que os especialistas do domínio, ao observarem certas características visuais em gráficos, identificam padrões visuais significativos que indicam feições relevantes para a interpretação. Por exemplo, um economista que busca identificar tendências da variação de preços de um dado ativo financeiro teria dificuldades em identificar esta tendência analisando apenas os dados brutos da série temporal que corresponde a esta variação, mas quando estes dados são representados em um gráfico *tempo X preço*, o gráfico resultante permite um reconhecimento mais rápido e intuitivo desta tendência. Este exemplo é representado na Figura 2.1. Este trabalho propõe um framework para interpretação semântica de gráfico independente de domínio, e um sistema que utiliza este framework para realizar a interpretação de perfis de raios gama no domínio da Estratigrafia de Sequências.

Esta abordagem também fundamenta-se na utilização de três níveis semânticos distintos, como em (HUDELLOT; MAILLOT; THONNAT, 2005): nível de domínio, nível visual e nível analógico. O nível de domínio incorpora um modelo de conhecimento do domínio, descrevendo os objetos de interesse. O nível visual incorpora uma ontologia independente de domínio, que descreve noções visuais, como formas de curvas, por exemplo. O nível analógico oferece primitivas para representar objetos de interesse no nível analógico, como ponto e sequência de pontos, por exemplo. Relacionando os três níveis, a abordagem faz uso de detectores simbólicos, que descrevem (realizando

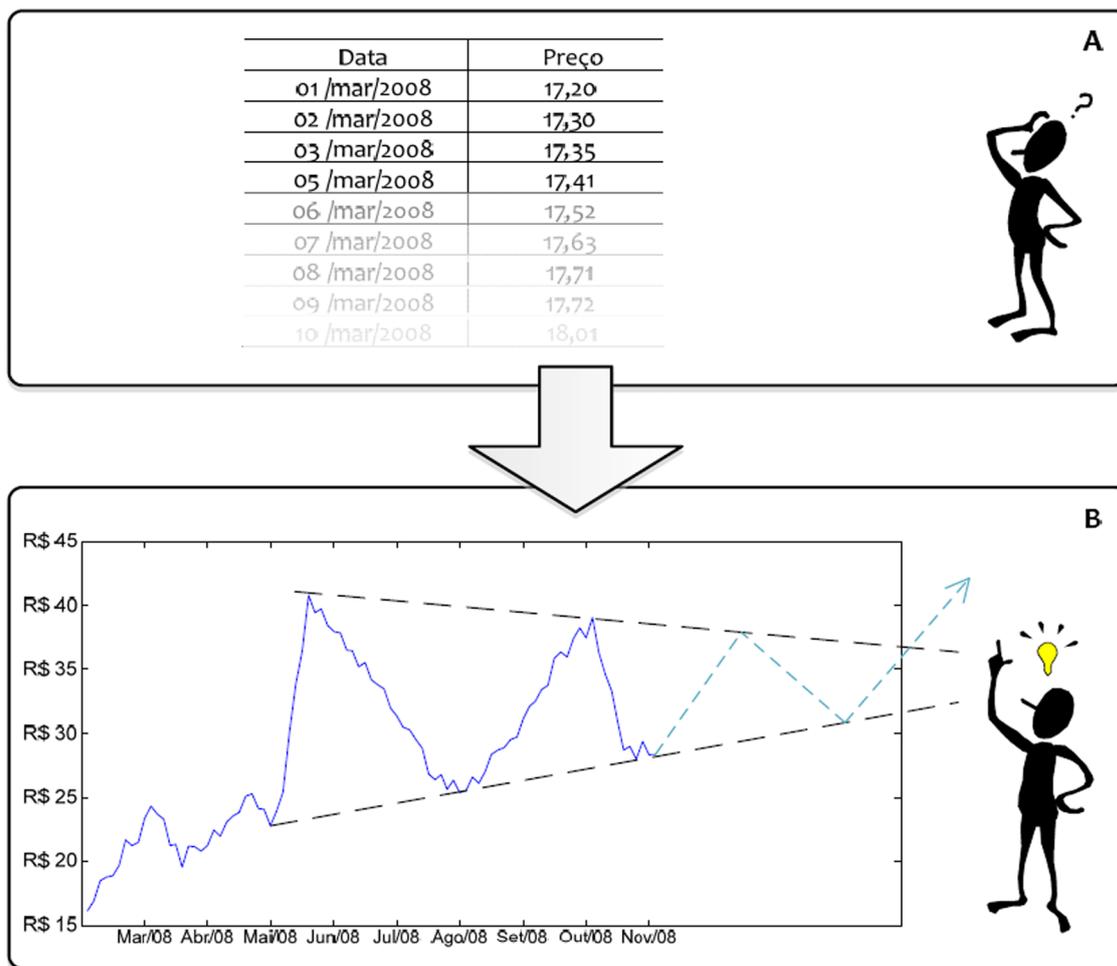


Figura 2.1: Representação gráfica de uma série temporal financeira. Adaptada de (FIORINI, 2009)

um mapeamento) as primitivas de um dado nível em função de primitivas de um nível semântico inferior. A interpretação é realizada através de um procedimento em que toma-se conceitos do domínio como hipóteses, disparando a busca por feições visuais, que disparam buscas por conceitos analógicos. No nível analógico, algoritmos de processamento de imagens são disparados em função das feições analógicas que estão sendo buscadas.

A abordagem de Fiorini está mais focada na realização do ancoramento simbólico, de modo que não preocupa-se em sistematizar o processo de interpretação visual, como definido neste trabalho. Além disso, a abordagem não se preocupa em fundamentar cognitivamente o conhecimento inferencial utilizado para realizar a interpretação.

### 2.3 Abordagem 3: Interpretação do grau de compactação de uma rocha

A abordagem proposta por (SANTIN, 2008), aplicada no domínio da Petrografia Sedimentar, sub-área da Geologia, também estabelece uma distinção do conhecimento utilizado no processo de interpretação em três níveis: nível de processamento, nível visual e nível semântico. O objetivo final da proposta é a interpretação do grau de compactação

de uma rocha reservatório.

O nível de processamento representa as informações da imagem no nível do processamento de imagem. O nível visual distingue os objetos principais, o fundo da imagem, os contornos e os relacionamentos topológicos entre os objetos. Este nível é definido em função das necessidades do mecanismo de atenção visual artificial utilizado na abordagem. O nível semântico é constituído por uma ontologia de domínio, que atribui significado aos objetos identificados no nível visual. O mapeamento é realizado explicitamente entre os níveis, de modo que objetos do domínio são descritos em função dos objetos visuais e estes são descritos em função de primitivas de processamento de imagens. Este mapeamento garante a identidade de cada um dos objetos, de modo que pode-se buscar objetos de domínio na imagem, navegando entre os níveis. A seleção dos objetos visuais relevantes para a tarefa é realizada através de um mecanismo de atenção visual.

Uma vez identificados os conceitos de domínio e suas relações, um processo de interpretação específico do domínio é realizado para inferir o grau de compactação da rocha.

A abordagem de Santin utiliza a mesma base encontrada em (HUDELOT; MAILLOT; THONNAT, 2005), com a diferença de que na última etapa, realiza um processo de interpretação visual semelhante ao processo de interesse neste trabalho, uma vez que busca determinar interpretações mais abstratas a partir das características visuais dos objetos de domínio. No entanto, as interpretações realizadas na abordagem de Santin envolvem aspectos quantitativos, numericamente manipulados e de um modo específico ao domínio. Deste modo, diferem de interpretações em que o resultado esperado são aspectos qualitativos, conceituais. Além disso, apesar de utilizar uma abordagem cognitivamente inspirada, baseada nos mecanismos de atenção visual, a abordagem não foca-se em fundamentar cognitivamente as estruturas de conhecimento inferencial utilizadas para suportar a interpretação.

## 2.4 Abordagem 4: Interpretação e ordenação de eventos paragenéticos

Em (MASTELLA, 2005; MASTELLA et al., 2005) é proposta uma abordagem para inferência de eventos do domínio, a partir de feições visuais do domínio, e ordenação de eventos a partir de relações estabelecidas entre os objetos do domínio. A abordagem foi proposta para domínios imagísticos em que se faz necessária a inferência de sequências de ocorrências de eventos para compreender o estado atual do domínio, e nos quais as características visuais dos objetos de domínio registram a ocorrência de certos eventos e a ordem em que ocorreram. Esta abordagem é proposta como independente de domínio, mas foi utilizada no domínio da Petrografia Sedimentar para interpretação de sequências diagenéticas.

Para alcançar estes objetivos, a abordagem prevê a extensão do conjunto de construtos tradicionalmente utilizados para representar ontologias - classes, relações, regras de inferência, axiomas e instâncias (segundo os autores) - incluindo um construto para representação de eventos e relações temporais entre eles. Os construtos são:

**Eventos:** São considerados construtos transformadores de classes. Representam fenômenos que geram ou modificam elementos do domínio. São caracterizados por atributos específicos dependentes de domínio. São também descritos por regras que

os associam aos seus produtos, e são associados a outros eventos por uma relação de ordem.

**Relação temporal:** Representa relações de ordem entre os eventos. Neste trabalho, foram definidas as relações binárias *antes*, *depois* e *durante*.

Além disso, a abordagem prevê dois tipos de regras de inferência:

**Regras de indicação de evento:** A presença de certos atributos visuais em objetos de domínio visualmente observados são usadas para indicar a ocorrência de eventos responsáveis pela geração ou modificação do objeto de domínio em foco. Estas regras capturam a relação entre as feições de domínio (expressas por atributos de classes da ontologia) e seus eventos geradores ou modificadores (expressos pelo construto *Eventos*).

**Regra de implicação temporal:** Expressa funções entre instâncias de relações, em vez de instâncias de classes. Permitem a inferência de *relações temporais* binárias entre *eventos* a partir de relações visuais e espaciais entre os objetos do domínio.

A abordagem também propõe um PSM (*problem-solving-method*) para realizar a inferência de eventos geradores/modificadores dos objetos de domínio visualmente observados, e para inferir a ordem relativa da ocorrência destes eventos.

De um modo geral, esta abordagem trata de problemas semelhantes aos tratados no presente trabalho. Ela foi aplicada em um domínio natural visualmente complexo, para inferência de eventos do passado, cujas características ficam registradas nas feições visuais dos objetos. A proposta de novos construtos para representar eventos e relações temporais em ontologias também mostra-se útil para modelar a resolução deste tipo de problema. No entanto, a organização dos construtos parece confusa: por um lado, são oferecidas classes, construtos tradicionalmente usados para representação de ontologias, e por outro são oferecidos eventos, que, ao que tudo indica, representariam entidades que não são representadas por classes. As regras de indicação de evento também são úteis para capturar a relação entre os objetos visualmente observados e seus eventos geradores ou modificadores. No entanto, apesar destas estruturas de conhecimento inferencial esclarecerem que tipos de entidades podem ser interpretadas (*Eventos*), não esclarecem quais tipos de entidades são passíveis de observação visual nestes casos, uma vez que a abordagem prevê que qualquer coisa representável por *classes* possa atuar como condição para interpretação de *Eventos* em atividades deste tipo. Neste sentido, parece haver uma confusão entre construtos epistemológicos, como *classes*, e construtos ontológicos, como *eventos*. Quando, na verdade, parece mais razoável a utilização de construtos ontológicos distintos, neste caso. A utilização de uma ontologia de fundamentação, como a UFO, auxiliaria a realizar estas distinções de um modo mais fundamentado.

## 3 FUNDAMENTOS COGNITIVOS

O objetivo deste capítulo é revisar os fundamentos cognitivos importantes para a realização da pesquisa e o desenvolvimento das propostas resultantes.

### 3.1 Raciocínio

Uma análise da literatura das Ciências Cognitivas revela uma ampla riqueza em definições e discussões a respeito do significado do termo raciocínio. Em geral, estas definições convergem no que diz respeito à importância atribuída a este processo para o ser humano, enfatizando-o como uma característica fundamental da inteligência humana. No entanto, as definições possuem variações sutis que expressam as preocupações e/ou intenções específicas de cada uma das áreas em que são elaboradas. Para que o conceito de raciocínio seja melhor compreendido, a seguir ele será discutido sob a perspectiva da Filosofia e da Psicologia.

#### 3.1.1 Perspectiva da Filosofia

No contexto da Filosofia, sobretudo na disciplina da Lógica (vista como *o estudo do correto pensar*), há uma grande preocupação com as noções de correteza, validade e verdade e de como se garante que os procedimentos de raciocínio preservam estas propriedades. Neste sentido, grande parte dos modelos de raciocínio elaborados na Filosofia são de natureza normativa, isto é, eles estabelecem como o raciocínio *deve ser* realizado para garantir certas propriedades, mas não refletem necessariamente como as pessoas *realmente* raciocinam em contextos cotidianos ordinários, ou mesmo em domínios especializados, como as disciplinas científicas (WALTON, 1990; OVER, 2004; THAGARD, 1982; STANOVICH, 1999).

A Filosofia é prolífica no que se trata em discussões acerca do conceito de raciocínio. Partindo de uma definição básica, em (KIRWIN, 1995) o autor caracteriza o raciocínio como o processo em que se busca razões para crenças, ações ou sentimentos. Já em (ANGELES, 1981), o autor discute mais profundamente o conceito, buscando delinear principalmente qual o papel que o raciocínio desempenha nas atividades conscientes do ser humano. Nesta perspectiva, o raciocínio é compreendido como o processo de inferir conclusões a partir de certas afirmações, ou o processo que consiste na aplicação de lógica ou outros padrões abstratos para solucionar problemas, ou ainda, a habilidade de saber coisas sem recorrer diretamente à percepção ou experiência imediata. Além disso, o autor sustenta que o raciocínio pode ser utilizado com vários propósitos, manifestando-se em diversos contextos, tais como: tomada de decisão, discussão, questionamento e dúvida, persuasão, explicação, racionalização, etc. Por fim, o autor afirma que qualquer forma

de atividade consciente pode ser afetada e estruturada por um processo de raciocínio. É importante notar que esta definição de raciocínio recorre ao conceito de inferência. Assim, para compreender o raciocínio dentro deste contexto, deve-se compreender a noção de inferência. Neste sentido, para (WALTON, 1990), a inferência constitui o processo no qual se faz uso de regras ou outras garantias e/ou justificações para ligar determinadas proposições (afirmações) com outras. Este processo desenvolve-se em um sentido claro, movendo-se das premissas (proposições iniciais) para as conclusões (proposições finais). Já em (AUDI, 1999) define-se a inferência como um processo através do qual se obtém uma conclusão a partir de premissas ou suposições. Em uma perspectiva mais simplificada, pode ser visto como o processo através do qual se obtém conclusões a partir de crenças. Sob esta perspectiva, as crenças desempenham um papel importante na caracterização do raciocínio, pois a inferência ocorre apenas se alguém, acreditando nas premissas, passa a acreditar na conclusão, ou continua a acreditar na conclusão com um grau de confiança maior que antes. Assim, uma inferência idealmente aceitável requer um sujeito que acredite nos argumentos. Enumera-se, desta forma, as chamadas condições epistêmicas para a inferência, segundo este autor: o sujeito deve acreditar nas premissas, deve acreditar que as premissas suportam a conclusão alcançada, e nenhuma dessas crenças deve ser baseada na crença a priori na conclusão.

Em (WALTON, 1990) destaca-se que o raciocínio é visto sob duas perspectivas na Filosofia: internalista e externalista. De acordo com a primeira, o raciocínio é visto como um processo mental, interno, pertencente ao indivíduo. De acordo com a segunda, argumentos incorporariam compromissos públicos sobre crenças pessoais. Neste sentido, um argumento não seria apenas um conjunto de proposições, mas uma discussão governada por regras, que ocorre entre duas ou mais pessoas que objetivam resolver um conflito. Esta última visão possui um forte componente social, inserindo o agente que raciocina em um ambiente, interagindo com outros. Esta visão externalista baseia-se no conceito de argumento, que seria uma ferramenta de persuasão expressada publicamente.

A explicação oferecida em (ROBERT, 2006) sobre o raciocínio também revela características relevantes para a discussão. Neste trabalho, o autor sustenta que os seres humanos (e outros animais) são perceptualmente sensíveis à ordem apresentada pelos sistemas nos quais o mundo natural se organiza. Esta ordem, quando é percebida e representada, pode ser tomada como informação. Seres humanos buscam reproduzir mentalmente a estrutura dos sistemas percebidos no mundo natural. Para realizar este objetivo, fazemos uso de entidades mentais: categorias, relações mentais entre categorias, interações mentais (ou operações) sobre categorias. Neste sentido, Robert defende que categorias são as unidades básicas do conhecimento e que conhecer é categorizar, estabelecer relações entre categorias e realizar operações sobre categorias. Sob esta perspectiva, uma operação mental é uma transformação que reproduz uma interação entre entidades. Uma operação mental pode ser definida como uma inferência, no sentido de transformar um fragmento de informação em outro, passar de uma categoria a outra. Devido as suas capacidades linguísticas próprias, os seres humanos são capazes de realizar inferências abstratas, referenciadas como argumentos (inferências linguísticas). Argumentos são construídos através da relação de proposições, as quais constituem os elementos fundamentais do argumento. A estrutura geral dos argumentos envolve alcançar proposições finais, chamadas conclusões, a partir de proposições iniciais, chamadas premissas, por meio de regras de inferência. O autor também salienta que o tipo de inferência realizado é definido pelo padrão (regras ou outros padrões abstratos)

utilizado para realizá-la, visando a garantia da conclusão. Assim, no caso de utilizar-se uma regra lógica, realiza-se uma inferência lógica; no caso de utilizar-se uma regra estatística, realiza-se uma inferência estatística, etc.

A literatura da Filosofia também oferece uma categorização em que são distinguidos três tipos básicos de formas de raciocínio (eventualmente chamados de tipos gerais de inferência, ou tipos de argumentos), que são: dedução, indução e abdução. Historicamente, até meados do século XIX, os filósofos e pensadores em lógica distinguiam os tipos de raciocínios em duas classes gerais: a classe dos argumentos dedutivos (inferências necessárias) e a classe dos argumentos indutivos (inferências prováveis). Neste cenário, conforme apresentado em (PEIRCE, 1972), o filósofo estadunidense Charles Sanders Peirce constatou que existem dois tipos de inferências prováveis, separando o que antes era considerado como um único tipo de raciocínio — o raciocínio indutivo — em dois tipos distintos: raciocínio indutivo (ou indução) e raciocínio abduutivo (ou abdução). A seguir, são consideradas as características gerais destes tipos de raciocínio:

**Dedução:** Costuma ser descrito como o raciocínio do geral para o particular. Em (SCHURZ, 2008) é dito que a dedução é considerada uma forma de inferência não ampliativa e certa, na medida em que, dadas premissas verdadeiras, a conclusão alcançada também será verdadeira. No entanto, não é gerado novo conhecimento neste processo, visto que o resultado da inferência apenas torna explícito o que já está implícito nas premissas. No raciocínio dedutivo, por exemplo, dada a regra geral que relaciona causas a efeito e dada a causa, deduzimos o efeito. É um raciocínio típico na matemática, em provas de teoremas.

**Indução:** Indução é o método de raciocínio através do qual desenvolve-se uma asserção mais geral e/ou abstrata através de um conjunto limitado de observações ou instâncias (SCHURZ, 2008; GIARRATANO; RILEY, 2004). Neste sentido, a indução envolve um movimento a partir de crenças específicas sobre instâncias em direção a crenças gerais sobre grandes populações de instâncias ainda não observadas. É considerada uma forma de inferência ampliativa. O resultado alcançado através da indução incorpora mais conhecimento do que o conjunto das premissas. No entanto, a indução constitui uma grande fonte de controvérsias na Filosofia (RUSSELL, 1997), pois neste padrão de inferência afirma-se um conhecimento maior do que aquele apontado pela experiência. Por este motivo, pode levar a conclusões falsas a partir de premissas verdadeiras. Estamos realizando um raciocínio indutivo quando, por exemplo, dadas diversas observações em que um dado efeito segue-se de uma dada causa, concluímos uma regra geral que generaliza uma implicação do efeito dada a causa. É o raciocínio típico para estabelecer categorias gerais, regras gerais e leis.

**Abdução:** Como a indução, a abdução é também considerada uma forma de inferência ampliativa (SCHURZ, 2008). Através da abdução também infere-se conhecimento que não está contido nas premissas. Deste modo, este tipo de raciocínio pode levar a conclusões falsas a partir de premissas verdadeiras. No entanto, diferentemente da indução, a abdução não estabelece regras gerais sobre as diversas observações particulares, mas sim algo de tipo diferente daquilo que é observado diretamente e que, com frequência, poderia ser impossível de observar diretamente (PEIRCE, 1972). Em geral, a abdução também é referenciada como a inferência para a melhor explicação. Dada uma determinada observação de um fato, abdutivamente

determinamos a melhor explicação para o fato. Esta hipótese que oferece a melhor explicação deve ser tal que os fatos observados (que desejamos explicar) sejam consequências dedutivas desta hipótese. Peirce considerava que a inferência abdutiva constituía o primeiro tipo de raciocínio utilizado em uma metodologia de investigação científica, sendo responsável pela geração de hipóteses plausíveis que o cientista produziria para explicar as observações. Estamos realizando um raciocínio abduativo, por exemplo, quando, dado um efeito observado e conhecendo-se uma regra geral que relaciona causa e efeito, concluímos uma hipótese que explica a causa mais provável. A abdução é o tipo de raciocínio realizado na medicina, por exemplo, quando infere-se a doença a partir dos sintomas.

Para compreender melhor a diferença entre os três tipos de raciocínio, podemos considerar um mesmo cenário em que os três são aplicados. Para isso, consideremos um cenário em que temos uma caixa *C*, que contém uma certa quantidade de bolas em seu interior. Vamos considerar também que estamos observando uma certa propriedade das bolas dessa caixa, como, por exemplo, a cor. Um possível raciocínio dedutivo neste cenário seria:

Todas as bolas da caixa *C* são vermelhas.  
A bola *B* é da caixa *C*.  
A bola *B* é vermelha.

Um possível raciocínio indutivo neste cenário seria:

Todo o conjunto *D* de bolas foi retirado da caixa *C*.  
Todas as bolas do conjunto *D* são vermelhas.  
Todas as bolas da caixa *C* são vermelhas.

Um possível raciocínio abduativo neste cenário seria:

Todas as bolas da caixa *C* são vermelhas.  
A bola *B* é vermelha.  
A bola *B* foi retirada da caixa *C*.

### 3.1.2 Perspectiva da Psicologia

No contexto da Psicologia, em termos de estudos do raciocínio, há uma grande preocupação em compreender como as pessoas realmente raciocinam, seja em contextos cotidianos ordinários, ou durante a resolução de problemas em domínio especializados como as disciplinas científicas. Neste sentido, os modelos de raciocínio elaborados no contexto da Psicologia são de natureza *descritiva*, diferindo dos modelos *normativos* da Lógica, como visto anteriormente. Ou seja, no contexto da Psicologia, os modelos pretendem explicar como as pessoas *realmente* raciocinam, e por que o fazem desta forma e não como elas *deveriam* raciocinar para garantir propriedades importantes do ponto de vista lógico (OVER, 2004; THAGARD, 1982; STANOVICH, 1999).

Sob a perspectiva da Psicologia, pode-se destacar inicialmente a definição de raciocínio oferecida por (BARBEY; BARSALOU, 2009), que afirma que o raciocínio é a qualidade que distingue o pensamento humano e que suporta o processo de descoberta que ocorre a partir daquilo que é conhecido ou suposto, em direção daquilo que é desconhecido ou implícito. Já Johnson-Laird (JOHNSON-LAIRD, 1999) afirma que o raciocínio é o processo do pensamento que produz uma conclusão a partir da percepção ou de

afirmações tomadas como verdade. Este processo pode realizar-se de forma consciente ou inconsciente pelo agente que raciocina.

A Psicologia encerra uma série de perspectivas sobre a natureza do raciocínio humano. Estas perspectivas podem ser agrupadas ao longo de várias dimensões de classificação possíveis, entre as quais podem ser destacadas três principais: arquitetura cognitiva, tipos de representações subjacentes ao processo e modelo de raciocínio utilizado.

### 3.1.2.1 *Arquitetura cognitiva*

Em relação à arquitetura cognitiva que suporta o processo de raciocínio, há uma notória distinção entre duas teorias principais (BARBEY; BARSALOU, 2009): as teorias que afirmam que a mente contém uma série de módulos especializados de raciocínio, e as teorias que descrevem a mente em função de sistemas de raciocínio de propósito geral.

De acordo com as teorias modulares, a mente consiste em um conjunto de módulos especializados de raciocínio que são cognitivamente impenetráveis, isto é, não estão disponíveis para o controle deliberado (consciente) e são informacionalmente encapsulados, de modo que são capazes de processar apenas tipos específicos de informação (BARBEY; BARSALOU, 2009). Os defensores desta teoria postularam uma série de módulos subjacentes ao raciocínio, tais como: módulo de inferência semântica, de pragmática comunicativa, de intercâmbio social, de intuição numérica, de noções espaciais, de física ingênua, de movimento biomecânico, entre outras. A visão modular forte vê o substrato neural do qual emerge a arquitetura cognitiva como um conjunto de sistemas neurais relativamente localizados, implementando módulos cognitivamente impenetráveis e informacionalmente encapsulados.

Já as teorias que descrevem a mente em função de sistemas de propósito geral, em sua grande parte, postulam a existência de dois sistemas de propósito geral distintos: são as chamadas teorias duais. Estas teorias sustentam que o pensamento humano incorpora dois sistemas de raciocínio (EVANS, 2008) que, por receberem diversos nomes na literatura, são geralmente chamados de *Sistema 1* e *Sistema 2*. O primeiro suporta a resolução de problemas com base no conhecimento a priori e nas crenças estabelecidas. Este sistema opera rapidamente e automaticamente, baseando-se no uso de operações cognitivas básicas (tais como associação, similaridade, e recuperação mnemônica) para produzir julgamentos primitivos, de maneira rápida e inconsciente (BARBEY; BARSALOU, 2009). Já o segundo sistema permite o raciocínio através de padrões e normas lógicas. Este sistema incorpora mecanismos evolutivamente avançados que possibilitam a realização de processos de raciocínio de forma consciente e deliberada. No entanto, esta sofisticação envolve um custo, pois, segundo as teorias duais, este sistema operaria de forma lenta, consumindo muitos recursos da arquitetura computacional humana. É possível encontrar posições extremas em relação a esta teoria que afirmam que os dois processos de raciocínio são manifestações de dois sistemas cognitivos distintos, que possuem histórias evolutivas e substratos neurológicos drasticamente distintos como consequência do processo evolutivo.

A perspectiva dual do raciocínio abarca diferentes visões a respeito da interação entre esses processos de raciocínio distintos para alcançar soluções. Uma destas perspectivas, discutida em (EVANS, 2006) (representada na Figura 3.1), sustenta que o raciocínio envolve a utilização de processos cognitivos heurísticos (*Sistema 1*) para gerar representações seletivas do conteúdo do problema, e a utilização de processos cognitivos analíticos (*Sistema 2*) que derivam inferências ou julgamentos a partir dessas representações. Este trabalho também apresenta uma alternativa à perspectiva anterior,

sustentando que uma intervenção mais ativa do processo analítico pode modificar ou até substituir o modelo construído heurísticamente, mas também que, em alguns casos, o sistema analítico sequer é acionado (Figura 3.2).

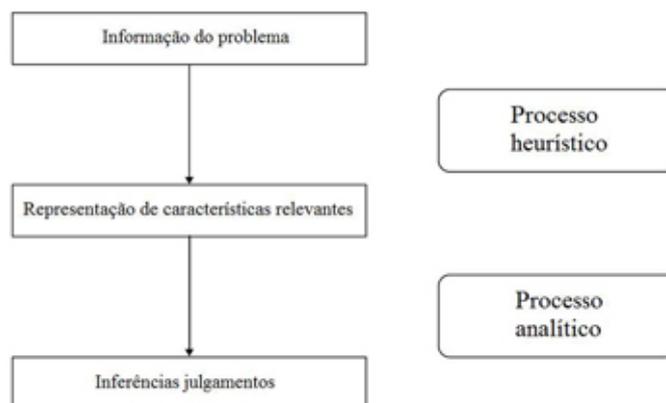


Figura 3.1: Representação esquemática da teoria heurística-analítica do raciocínio humano. Traduzida de (EVANS, 2006)

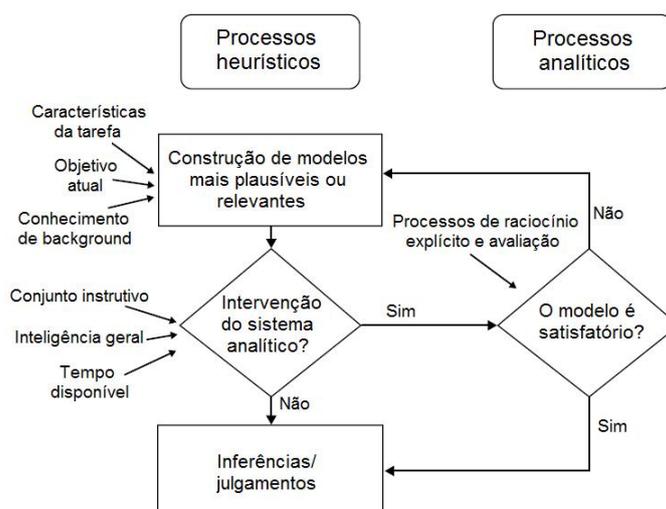


Figura 3.2: Representação esquemática da teoria heurística-analítica do raciocínio humano, em uma versão revisada. Traduzida de (EVANS, 2006)

Esta perspectiva dual do raciocínio humano foi adotada por muitos pesquisadores da Psicologia, dando origem a uma nomenclatura abundante e variada para estes sistemas de raciocínio. Em (EVANS, 2008) é apresentada uma tabela (Tabela 3.1) que compara as diversas nomenclaturas adotadas por diferentes autores para distinguir estes sistemas.

### 3.1.2.2 Representações subjacentes ao raciocínio

As perspectivas da Psicologia sobre o raciocínio também diferem em relação às representações mentais que são utilizadas durante a realização do processo. Neste sentido, duas visões principais podem ser destacadas: as que postulam que o raciocínio utiliza-se de representações amodais e as que postulam que o raciocínio faz uso de representações específicas à modalidade (BARBEY; BARSALOU, 2009).

<b>Autores</b>	<b>Sistema 1</b>	<b>Sistema 2</b>
Fodor	Módulos de entrada	Cognição de alto nível
Schneider & Schiffrrin	Automático	Controlado
Epstein, Epstein & Pacini	Experiencial	Racional
Chaiken, Chen & Chaiken	Heurístico	Sistemático
Reber, Evans & Over	Implícito/tácito	Explícito
Evans	Heurístico	Analítico
Sloman, Smith & DeCoster	Associativo	Baseado em regras
Hammond	Intuitivo	Analítico
Stanovich	Sistema 1 (TASS)	Sistema 2 (Analítico)
Nisbett et al.	Holístico	Analítico
Wilson	Inconsciente adaptativo	Consciente
Lieberman	Reflexivo	Reflectivo
Toates	Limitado aos estímulos	De alto nível
Strack & Deustch	Impulsivo	Reflectivo

Tabela 3.1: Perspectivas duais sobre o raciocínio humano

As perspectivas que sustentam representações amodais como base do raciocínio afirmam que os estados específicos de cada modalidade sensorial são descritos em uma representação amodal (independente de modalidade sensorial), processável através dos mecanismos simbólicos clássicos. Assim, o processamento conceitual envolveria regiões do cérebro fora das regiões sensoriomotoras, subjacentes à linguagem, por exemplo.

Por outro lado, a teoria das representações modalmente específicas estabelece que o conhecimento e o significado são ancorados em representações modalmente específicas. Deste modo os conceitos seriam representados pela simulação dos estados modalmente específicos correspondentes aos que foram ativados durante as percepções, ações e interocepções (percepção dos estados internos do corpo) disparados ao longo das diversas experiências que o indivíduo teve com instâncias específicas destes conceitos. Neste sentido, cada conceito estaria representado de forma distribuída pelo substrato neural, ao longo de várias áreas modalmente específicas.

### 3.1.2.3 Modelos utilizados no raciocínio

A Psicologia também oferece perspectivas distintas sobre os modelos utilizados durante o processo de raciocínio. Neste sentido, existem duas teorias principais que disputam a atenção dos pesquisadores: a teoria dos modelos mentais e a teoria da lógica mental.

A teoria dos modelos mentais, proposta por Philip N. Johnson-Laird (JOHNSON-LAIRD, 2001), afirma que as pessoas utilizam o conhecimento geral que possuem do mundo para construir modelos mentais visuoespaciais dos possíveis estados de coisas desse mundo. Ou seja, as pessoas elaboram, através dos modelos mentais, diversos cenários mentais (internos) hipotéticos, nos quais as possíveis decisões são testadas antes de efetivá-las no mundo externo. Os modelos mentais possuem 3 características fundamentais:

- Todos os modelos mentais representam um estado de coisas do mundo.
- Todos os modelos mentais são icônicos, na medida em que suas constituições

correspondem às constituições dos estados de coisas do mundo que representam.

- Todos os modelos mentais representam apenas o que é verdadeiro em relação aos estados de coisas em função dos quais são constituídos (princípio de verdade). De acordo com este princípio, as pessoas não buscam delimitar o que é falso em suas representações, mas sim, delimitar quais as possibilidades potencialmente verdadeiras para, assim, interagir adequadamente no mundo, objetivando o sucesso.

Para Johnson-Laird, os modelos mentais constituem a base fundamental de qualquer processo racional humano. Esta teoria nega a suposição de que os processos mentais são governados por regras lógicas formais, estabelecendo que não existe qualquer estrutura determinada para o raciocínio. De acordo com as pesquisas de Johnson-Laird, cada indivíduo constrói suas próprias estratégias para resolução de problemas. Essas estratégias são desenvolvidas ao longo da vida do sujeito e são mantidas ou abandonadas na medida que apresentam resultados satisfatórios ou não, na resolução de problemas. Ou seja, cada indivíduo está livre para utilizar as estratégias que julgar convenientes em cada situação apresentada, sendo que essas estratégias são refinadas ao longo do processo em função dos resultados (sucesso ou fracasso) obtidos pela sua utilização. Assim, a única constante seria a existência da capacidade de produzir modelos mentais e não a existência de uma estrutura lógica formal do pensamento. Essa constatação fundamenta o chamado princípio da modulação, cujo núcleo central estabelece que o conhecimento prévio e as crenças de um sujeito modulam sua forma de raciocinar. Ou seja, pode-se dizer que nesta teoria, o conteúdo a ser processado é que formata o próprio processo de raciocínio. Assim, pensar através de modelos mentais equivale a um processo semântico e não meramente sintático.

Já a teoria da lógica mental, defendida por Martin Braine e David P. O'Brien (BRAINE et al., 1995), estabelece como premissa básica que existe uma estrutura lógica determinada que governa os processos de raciocínio. No entanto, contrariando certas impressões sobre esta teoria, os autores destacam que não há qualquer razão para crer que a lógica do raciocínio tenha alguma equivalência à lógica formal desenvolvida pelos logicistas. Isto significa que, mesmo que exista uma estrutura lógica que determina e formata o raciocínio, é errado identificar, *a priori*, esta estrutura com alguma das lógicas formais. Ou seja, a lógica mental não é necessariamente a lógica formal. Esta afirmação constitui um duro golpe contra o argumento logicista das ciências cognitivas em geral, que identifica o pensamento a processos lógicos formais. Esta teoria difere da teoria dos modelos mentais em outro ponto também: ela tem o foco na forma do processo, independentemente do conteúdo. Assim, segundo a teoria da lógica mental, o pensamento é identificado como um processo sintático.

### 3.2 Percepção, perícia e os pacotes perceptuais

A perícia pode ser compreendida como a capacidade de aplicar habilidades intelectuais para resolver problemas em domínios estratégicos, alcançando uma performance qualitativa melhor que a média dos sujeitos que resolvem os mesmos problemas (ABEL, 2001). A compreensão do que torna um especialista tão bom em seu domínio constitui um campo tradicional de investigação da Ciência Cognitiva. As investigações desenvolvidas neste campo revelaram algumas evidências e teorias que buscam explicar o fenômeno (GOBET, 1998) e que são úteis para o escopo deste trabalho.

Os trabalhos pioneiros no estudo dos fatores cognitivos responsáveis pela perícia foram realizados por Adriaan de Groot (1965), que foram posteriormente ampliados por William G. Chase e Herbert A. Simon (1973). Estes trabalhos iniciais elegeram o xadrez como domínio de estudo, e focaram-se em revelar os aspectos cognitivos que tornam os mestres enxadristas tão melhores que os novatos. Atualmente, o estudo cognitivo da perícia permanece como uma área bastante ativa, incluindo estudos na manifestação da perícia em diversos outros domínios, tais como a física, a enfermagem, a tomada de decisão empresarial, etc (CHASSY; GOBET, 2011).

Os estudos cognitivos da perícia apontam que a quantidade de conhecimento de domínio é uma condição essencial para os altos níveis de perícia. No entanto, a quantidade de conhecimento não é uma condição suficiente, uma vez que a capacidade de memorização do especialista só demonstra-se superior quando o conhecimento se refere a conteúdo do domínio (ABEL, 2001), de modo que a organização e a indexação do conhecimento de domínio são aspectos mais importantes. Em (ABEL; CASTILHO; CAMPBELL, 1998; CHASSY; GOBET, 2011) afirma-se que, enquanto para os novatos os índices de acesso ao conhecimento são propriedades simples e superficiais dos objetos, para os especialistas, tais índices são pacotes de estímulos sensoriais inter-relacionados que, quando reconhecidos em conjunto, permitem o acesso rápido ao conhecimento significativamente associado. Segundo (CHASSY; GOBET, 2011), os pacotes são padrões perceptuais que codificam as características fundamentais do ambiente. Já (GOBET et al., 2001) afirma que a concepção de pacote é diversificada na literatura, mas oferece uma descrição comum a todas essas concepções do que vem a ser um pacote como: uma coleção de elementos que possuem associações fortes entre si, mas associações fracas com elementos de outros pacotes. A teoria que, segundo (GOBET; SIMON, 1998), é conhecida como teoria do empacotamento (*chunking theory*) ou teoria do reconhecimento-associação (*recognition-association*), estabelece que a quantidade memorizada destes pacotes perceptuais e a quantidade de informação que eles integram são os responsáveis diretos pelo fato dos especialistas perceberem mais conteúdo do domínio e de forma mais rápida que os novatos.

Os pacotes são o resultado do processo de empacotamento (CHASE; SIMON, 1973), que ocorre à medida que os estímulos perceptuais são repetidamente reconhecidos em conjunto, associados a coisas ou eventos em uma série de situações particulares. Ao longo do tempo, estes padrões de estímulos perceptuais significativamente relacionados, formam complexos dinâmicos que abstraem suas ocorrências particulares, e passam a desempenhar o papel de gatilho cognitivo para as abstrações das situações ou eventos particulares a que estavam originalmente associados (GOBET, 1998). Como consequência do processo de empacotamento, ao invés de tomarem conhecimento de porções atômicas dos estímulos, os especialistas dirigem suas atividades no domínio em função de pacotes, que correspondem a complexos dinâmicos abstratos destes estímulos. Desta forma, a perícia estaria fortemente conectada à percepção, e seria resultado do acúmulo de um volume substancial de abstrações de padrões sensoriais ao longo do tempo. Neste sentido, os processos de resolução de problemas utilizados pelos especialistas seriam guiados por reconhecimento de padrões. Em (GROOT; GOBET, 1996) *apud* (GOBET; LANE, 2010) afirma-se que “cognição é percepção”, reconhecendo o importante papel que a percepção desempenha na obtenção de altos graus de perícia.

O processo de empacotamento não é compreendido como um processo estritamente perceptual, uma vez que ele integra conjuntos de estímulos perceptuais relacionados a componentes conceituais mais abstratos. Assim, os pacotes podem ser vistos como

abstrações de um passo de solução em um processo de resolução de problemas (COOKE, 1992; ABEL, 2001). Neste sentido, os pacotes perceptuais estão mais relacionados a um tipo de conhecimento inferencial do que a conhecimento declarativo.

Segundo (STERNBERG, 1997), o processo de empacotamento leva a uma automatização dos processos cognitivos que envolvem a interação entre a percepção e a cognição de alto nível. Esta automatização, por sua vez, determina uma economia das capacidades de processamento de informação, liberando recursos cognitivos para a realização de inferências mais sofisticadas ou lidar com novos aspectos dos problemas. Este processo também é o responsável direto pela dificuldade que o especialista tem em tornar explícitas as relações de baixa granularidade entre os aspectos visuais do domínio e as interpretações de alto nível que estão significativamente associadas. Ao longo do tempo, as aparências visuais do domínio disparam diretamente interpretações abstratas associadas, de modo inconsciente.

No entanto, apesar da perícia ser fortemente baseada em casamento de padrões, isto não anula o papel da busca no raciocínio especialista. O casamento de padrões resultaria em uma primeira aproximação, a partir da qual a busca ocorreria. No caso do xadrez, de acordo com (CHASE; SIMON, 1973), o mestre enxadrista percebe o tabuleiro e, através de um mecanismo de casamento de padrões, esta percepção dispara o próximo movimento. Desta forma, a representação interna mantida pelo enxadrista é atualizada e o “olho da mente” (conforme a designação dos autores) pode perceber novos padrões, de modo que a busca pode prosseguir. Desta forma, a experiência prévia, armazenada em pacotes, permitiria diminuir o espaço de buscas. Segundo (GROOT, 1946) *apud* (GOBET; SIMON, 1998), os mestres enxadristas literalmente “vêm” o próximo movimento, como resultado do casamento entre os padrões observados e os padrões memorizados, sem a realização de buscas ou aplicação de funções de avaliação. Este processo automático seria suficiente para jogar razoavelmente partidas de jogos com restrições de tempo ou partidas simultâneas com jogadores novatos. No entanto, para enfrentar outro mestre enxadrista, com uma experiência equivalente (com uma quantidade semelhante de padrões memorizados), seria necessário mais que esta primeira aproximação através de casamento de padrões. Nestes casos, a realização de buscas e avaliações sutis das posições alcançadas nestas buscas também desempenham um papel importante.

É importante salientar também a relação que a literatura estabelece entre os elevados graus de perícia e a intuição (CHASSY; GOBET, 2011; GOBET; CHASSY, 2009), cuja ocorrência seria caracterizada pela rápida percepção e compreensão da situação, relativa falta de consciência do processo que desencadeou essa compreensão e pelo processo automático, não analítico e não deliberado. Segundo estes trabalhos, a intuição desempenha um papel chave na perícia e os processos de casamento de padrões seriam aspectos fundamentais da intuição. Em (GOBET, 2011) sustenta-se que a perícia depende de uma combinação entre pensamento intuitivo e processos deliberados de busca, mediada por processos perceptuais.

### 3.3 Percepção visual e cognição

Através da visão, nós derivamos uma rica compreensão do que está no mundo, de onde objetos estão localizados, de algumas das características destes objetos e de como eles mudam ao longo do tempo. Devido ao fato de que obtemos esta compreensão imediatamente, sem esforços e sem uma introspecção consciente do processo, o senso

comum é tentado a pensar que a visão é uma tarefa trivialmente simples de realizar e compreender (HILDRETH; ULLMAN, 1989).

Ao longo do tempo, o estudo da percepção, em particular a percepção visual, tem recebido contribuições das mais diversas disciplinas, tais como: Física, Psicologia, Neurociências, Filosofia, Inteligência Artificial, etc (HEYER; MAUSFELD, 2002). Cada uma destas disciplinas, busca enquadrar a investigação de diferentes aspectos deste fenômeno e com diferentes metodologias. Apesar dos avanços realizados nesta jornada, a literatura especializada reconhece a dificuldade inerente ao empreendimento de esclarecer este fenômeno em seus diversos aspectos. Ainda hoje, mesmo com a proposta de diversas teorias da percepção visual, diversos aspectos relacionados a este fenômeno ainda não são satisfatoriamente compreendidos. Ainda não há propostas capazes de integrar de forma consistente as evidências levantadas pelas diversas disciplinas que realizam esforços para compreender o fenômeno (PEISSIG; TARR, 2007).

Nesta seção, serão analisados aspectos relacionados à percepção visual e a cognição, que fundamentam as propostas deste trabalho.

### **3.3.1 Visão e percepção visual de objetos**

Segundo (HILDRETH; ULLMAN, 1989), a visão biológica constitui um processo que inicia quando a luz refletida pelas superfícies do ambiente estimula o olho (o sensor visual biológico). Na retina, os fotorreceptores são estimulados, resultando em um conjunto de medidas fotométricas, que podem ser compreendidas como um grande *array* de números que mudam continuamente, representando as intensidades luminosas. Deste *array* de medidas fotométricas, o sistema visual não determina em um único passo uma compreensão do que está na cena. A abordagem computacional do estudo da visão, assume que este processo ocorre em diferentes estágios, onde cada estágio produz descrições incrementalmente mais úteis do mundo. Desta forma, o processo da visão pode ser visto como a construção de uma série de representações da informação visual, com computações explícitas que transformam uma representação em outra.

Grande parte dos estudos envolvendo a visão, focam-se no estudo da percepção de objetos (SPELKE, 1990). Eles afirmam que a percepção visual de objetos depende do estabelecimento de uma relação causal, direta e informacional, com um conjunto de objetos físicos externos, que correspondem a qualquer corpo material único que possui partes hierarquicamente organizadas e coesas, que existem independentemente dos estados internos do percebido e seu sistema perceptual (FELDMAN, 2003; BULLOT, 2006). Alguns trabalhos afirmam que os seres humanos adultos conceitualizam o mundo em termos de objetos físicos que persistem no tempo e que estas conceitualizações participam do processo de percepção visual e identificação perceptual destes objetos (XU; CAREY, 1996).

### **3.3.2 A percepção e as partonomias**

Como as taxonomias, as partonomias também constituem formas gerais de organização do conhecimento. Enquanto as taxonomias constituem estruturas que relacionam os tipos aos seus supertipos e subtipos, as partonomias constituem organizações também hierárquicas da decomposição de uma categoria, tomada como uma totalidade, em suas partes constituintes (TVERSKY, 1985, 1989).

Em (TVERSKY, 1989) enfatiza-se que a noção de partes e partonomias desempenham um papel importante nos processos perceptuais e na organização conceitual. De acordo com a autora, as partes de um objeto complexo desempenham o papel de saliências

perceptuais, que oferecem pistas importantes para categorizar, individualizar e reconhecer o objeto, além de permitir inferências mais abstratas como as relacionadas à função do objeto. A configuração apropriada das partes determina as formas que os objetos podem possuir. Em (TVERSKY, 1985) também afirma-se que as partes constituem características que possuem um status diferenciado, na consolidação das categorias de nível básico. As categorias de nível básico seriam as categorias que usamos com maior frequência e em uma variação maior de contextos para categorizar uma mesma entidade do mundo (por exemplo, *banana*), contrastando com as categorias superordenadas (por exemplo, *fruta*) — mais abstratas — e com as subordinadas (por exemplo, *banana caturra*) — mais específicas. Além disso, as partes, e as saliências perceptuais associadas a elas, parecem unidades naturais de percepção e unidades naturais de função, no sentido de que elas oferecem critérios importantes para a realização de julgamentos mais abstratos relacionados aos objetos percebidos, como a inferências das funções que estes objetos desempenham ou comportamentos e dinâmicas associados ao objeto.

## 4 ONTOLOGIAS

O termo ontologia tem sua origem na Filosofia, onde é compreendido como um sistema de categorias, independente das linguagens utilizadas para representá-lo, que classifica sistematicamente os tipos de seres que existem e suas relações, estabelecendo uma determinada visão de mundo (GUARINO, 1998). Na Ciência da Computação, a definição do termo modificou-se ao longo do tempo. Neste contexto, a primeira vez que o termo foi utilizado foi em (MEALY, 1967), como a *disciplina que investiga as coisas que existem, independentemente de suas múltiplas representações possíveis*. De forma independente, a Inteligência Artificial passou a utilizar aquilo que ficou conhecido como *ontologias de domínio*, a partir de (HAYES, 1978), com a proposta da sua ontologia dos líquidos (HAYES, 1985), no contexto das suas investigações em física ingênua. Ainda na área da Inteligência Artificial, (NECHES et al., 1991) define ontologia como o *vocabulário de um domínio (termos e relações entre termos) associado ao conhecimento subjacente a este vocabulário*. Uma definição bastante referenciada na literatura foi a oferecida por (GRUBER, 1993), que afirma que *uma ontologia consiste em uma especificação explícita de uma conceitualização*. Atualmente, uma definição bastante aceita na área da Ciência da Computação é a oferecida por (STUDER; BENJAMINS; FENSEL, 1998), que uniu as definições propostas por Gruber e (BORST, 1997), estabelecendo que uma ontologia consiste em *uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada*.

Em (GUIZZARDI, 2007; GUIZZARDI; GUIZZARDI, 2010) são ressaltadas as diferenças no significado do termo adotado nas comunidades de (i) Modelagem Conceitual e de (ii) Inteligência Artificial, Engenharia de Software, Web Semântica e outras áreas da Ciência da Computação. Em (i) o termo ontologia é usado em conformidade com o significado tradicionalmente utilizado na Filosofia, isto é, como um modelo de categorias formal e filosoficamente bem fundamentado que pode ser usado para articular conceitualizações em modelos de engenharia específicos e domínios do conhecimento. Já em (ii), ontologias são utilizadas para descrever um artefato concreto de engenharia, desenvolvido para um propósito e/ou função específicos, sem a (ou com o mínimo de) observação de aspectos de fundamentação teórica; ou modelos de domínio expressos em uma linguagem de representação de conhecimento (RDF, OWL, F-Logic, etc) ou de modelagem conceitual (UML, EER, etc). Em relação a esta questão, em (STUDER; BENJAMINS; FENSEL, 1998) é dito que a comunidade da Inteligência Artificial, contexto em que este trabalho é conduzido, adotou a ontologia para *descrever o que pode ser computacionalmente representado do mundo em um programa*.

Segundo Guarino (GUARINO, 1998), a perspectiva filosófica e a perspectiva computacional estão relacionadas. No entanto, ele propõe uma diferenciação terminológica. Assim, o artefato de engenharia é definido como ontologia enquanto que a visão

filosófica é definida como conceitualização. Desta forma, duas ontologias podem possuir vocabulários diferentes e compartilhar uma mesma conceitualização.

#### 4.1 Ontologia de fundamentação: UFO

Ontologias de fundamentação, muitas vezes chamadas de ontologias de nível superior (do inglês *upper level ontology*), são meta-ontologias que definem conjuntos de categorias ontológicas de alto nível de abstração, independentes de domínio, e que constituem uma fundamentação geral para múltiplas ontologias mais elaboradas, específicas a domínios particulares (GUIZZARDI; WAGNER, 2005). Neste sentido, ontologias de fundamentação descrevem as categorias que são utilizadas para a construção de modelos conceituais de nível inferior (como as ontologias de domínios específicos). Assim, as ontologias de fundamentação são tomadas como uma referência adequada para a elaboração de linguagens para modelagem conceitual, de modo que as suas primitivas de representação reflitam o sistema de categorias e suas relações admissíveis, previstas pelas ontologias de fundamentação. Além disso, pode-se dizer que ontologias de fundamentação também atuam como guias para a tomada de decisões de modelagem em um processo de modelagem conceitual, esclarecendo e justificando o significado dos modelos, aumentando a compreensibilidade e o potencial de reusabilidade dos mesmos (GUIZZARDI; WAGNER, 2005).

Entre estas ontologias de fundamentação destaca-se a UFO (*Unified Foundational Ontology*), proposta como uma síntese (unificação) de noções abordadas por outras ontologias de fundamentação, tais como OntoClean/DOLCE e GFO/GOL, e que busca oferecer soluções para questões problemáticas não resolvidas nestas outras ontologias (GUIZZARDI; WAGNER, 2010). A UFO é concebida como uma ontologia de referência filosoficamente e cognitivamente bem fundamentada, que integra uma variedade de teorias de áreas como: Ontologia Formal, Lógica, Filosofia da Linguagem, Linguística e Psicologia Cognitiva. A UFO tem sido aplicada com sucesso na avaliação, re-design e integração de modelos de linguagens de modelagem conceitual, e também para prover semântica de mundo real (*real-world semantics*) para seus construtos de modelagem (GUIZZARDI; FALBO; GUIZZARDI, 2008).

A UFO foi concebida e tem sido incrementalmente desenvolvida, como uma ontologia composta por três partes - UFO-A, UFO-B e UFO-C - que estruturam noções de escopos distintos. O núcleo da UFO é o fragmento chamado UFO-A, que constitui uma ontologia de universais e indivíduos duradouros/continuantes (objetos), e sistematiza noções como: (i) as noções gerais de tipos e suas instâncias; (ii) objetos, suas propriedades intrínsecas e espaços de valores de propriedades; (iii) a relação entre identidade e classificação; (iv) distinção entre diferentes meta-tipos e suas relações admissíveis; (v) distinção entre tipos de propriedades relacionais; (vi) relações partonômicas, etc. A UFO-B, por outro lado, constitui uma ontologia de universais e indivíduos ocorrentes (eventos), incrementando o escopo da UFO-A e sistematizando noções temporais e relações entre objetos e eventos. Já a UFO-C, desenvolvida sobre a UFO-A e a UFO-B, constitui uma ontologia de noções sociais e agentes intencionais. Detalhes da UFO-A, UFO-B e UFO-C são apresentados, respectivamente, em (GUIZZARDI, 2005), (GUIZZARDI; FALBO; GUIZZARDI, 2008) e (GUIZZARDI et al., 2007; GUIZZARDI; GUIZZARDI, 2010; GUIZZARDI, 2006a). Neste trabalho foram utilizados conceitos da UFO-A e da UFO-B, que serão sumarizados a seguir <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Ao longo desta seção os construtos da UFO serão apresentados em português e entre parênteses serão

O conceito mais genérico da UFO é *Coisa (Thing)*, que é distinguido em duas entidades fundamentais: *Urelement*<sup>2</sup> (*Urelement*) e *Conjunto (Set)*. Um *Urelement* é uma entidade que não é um conjunto. A primeira distinção que é realizada entre as especializações de *Urelement* é a distinção fundamental entre as categorias de indivíduos e universais. *Indivíduos (Particulars)* são entidades que existem na realidade, tais como: uma pessoa, uma maçã, etc. *Universais (Universals)*, por sua vez, são padrões de características que podem ser instanciados em um número de diferentes indivíduos, de modo que podem ser compreendidos como abstrações de alto nível que caracterizam diferentes classes de indivíduos. Neste sentido, *Pessoa* é um universal que descreve as características comuns aos diferentes indivíduos (pessoas particulares) desse tipo como, por exemplo, nome e impressão digital. De um modo geral, para cada um das especializações de tipos de universais, a UFO também prevê uma especialização correspondente para os indivíduos. Estas distinções iniciais são apresentadas na Figura 4.1.

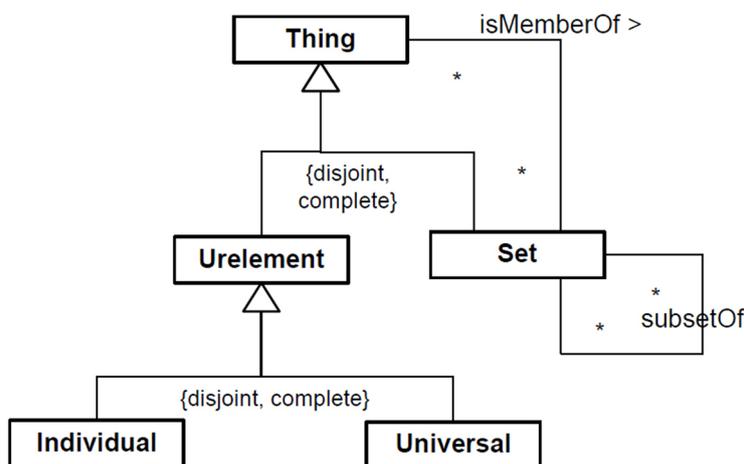


Figura 4.1: Fragmento da UFO que representa as distinções fundamentais entre urelement e conjunto, e entre universal e indivíduo (GUIZZARDI, 2005)

Os Universais da UFO são especializados em *Universal Duradouro* ou (*Universal Continuant*) (*Endurant Universal*) e *Universal Ocorrente* (*Perdurant Universal* ou *Event Universal*). Esta distinção pode ser compreendida em termos do comportamento dos indivíduos destes universais em função do tempo. Universais Duradouros são aqueles cujos indivíduos estão totalmente presentes sempre que estão presentes, no sentido de que *são no tempo*, preservando sua identidade ao longo da passagem do tempo. Exemplos de Universais Duradouros incluem: *Pessoa*, *Cadeira*, *Planeta*, etc. Por outro lado, Universais Ocorrentes são aqueles cujos indivíduos se estendem no tempo acumulando partes temporais, no sentido de que *ocorrem no tempo*. Exemplos de Universais Ocorrentes incluem: *Guerra*, *Festa*, *Reunião*, etc. É neste ponto que a UFO divide-se em dois fragmentos. A UFO-A sistematiza as noções relacionadas aos Universais Duradouros, enquanto a UFO-B foca-se nos Universais Ocorrentes.

Entre os Universais Duradouros, utilizando como critério a propriedade de dependência existencial, a UFO distingue dois tipos de universal: *Universais de Substância*

indicados os rótulos originais, em inglês. Nas figuras são apresentados apenas os conceitos em inglês

<sup>2</sup>Devido ao fato de não ter sido encontrada uma tradução adequada para o Português, e pela constatação de que textos em Português utilizam o termo original, preferimos representar o termo em seu idioma original

(*Substantial Universals*) e *Universais de Momento (Moment Universals)*. Os *Universais de Substância* são universais cujos indivíduos são existencialmente independentes, que possuem propriedades espaço-temporais e são fundados em matéria. Exemplos de *Universais de Substância* incluem Pessoa, Casa e outros objetos mesoscópicos do senso comum. Por outro lado, *Universais de Momento* são universais cujos indivíduos são existencialmente dependentes, de modo que só podem existir em outros indivíduos e que, por isso, são ditos inerentes a esses indivíduos. A Cor, por exemplo, é um *Universal de Momento*, cujos indivíduos só podem existir em outros indivíduos. A Figura 4.2 apresenta um fragmento da UFO em que estas distinções estão representadas.

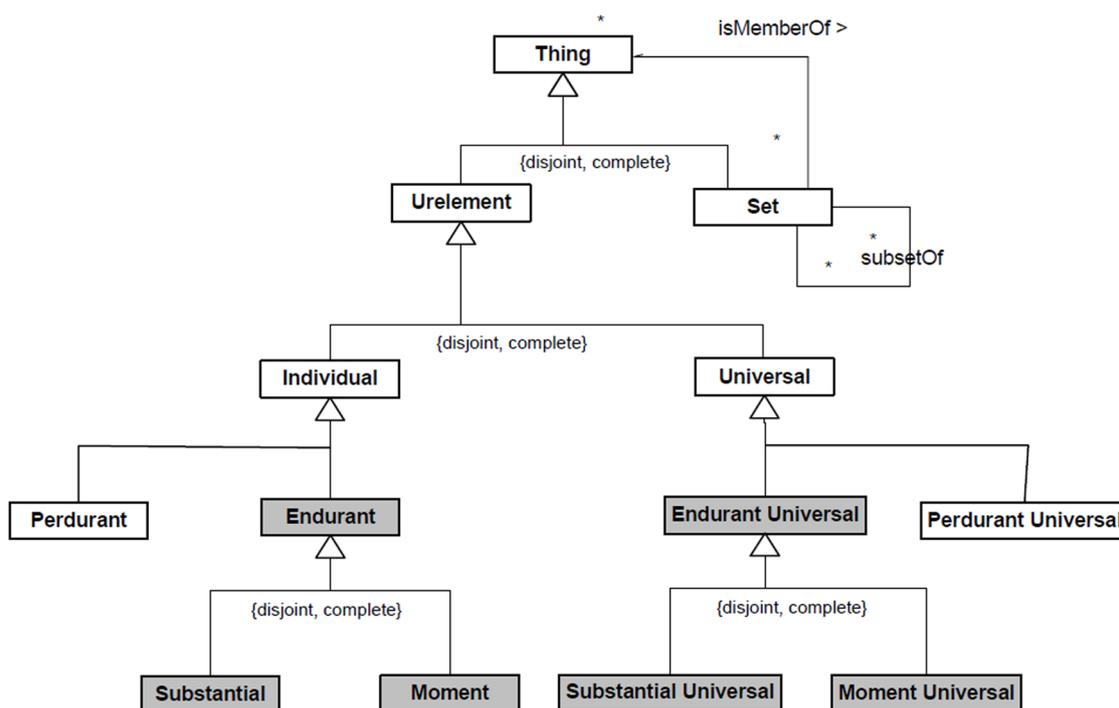


Figura 4.2: Fragmento da UFO que representa as distinções entre universais ocorrentes e duradouros, e entre universais de substância e universais de momento, bem como as mesmas distinções em relação aos indivíduos (GUIZZARDI, 2005)

Os universais de momento podem ser de dois tipos: *Momentos intrínsecos (Intrinsic Moments)* e *Momentos Relacionais (Relators)*. Momentos Intrínsecos denotam a dependência de um único indivíduo. Neste sentido, a Cor é um Momento intrínseco, uma vez que cada um dos seus indivíduos depende unicamente de um único indivíduo, como no caso da cor de uma maçã, por exemplo. Por outro lado, Momentos Relacionais denotam indivíduos que dependem de vários indivíduos. Por exemplo, um emprego, que envolve um empregador e um empregado. Estas distinções são representadas na Figura 4.3.

Alguns Momentos Intrínsecos Universais estão associados a *Estruturas de Qualidade (Quality Structures)* e nestes casos são chamados *Universais de Qualidade (Quality Universals)*. Uma estrutura de qualidade pode ser um *Domínio de Qualidade (Quality Domain)* ou a uma *Dimensão de Qualidade (Quality Dimension)*, sendo que um domínio de qualidade pode ser composto por diversas dimensões de qualidade. Por exemplo, o momento intrínseco universal Peso está associado a uma estrutura unidimensional que compreende a parte não negativa da linha dos números reais, de modo que esta estrutura

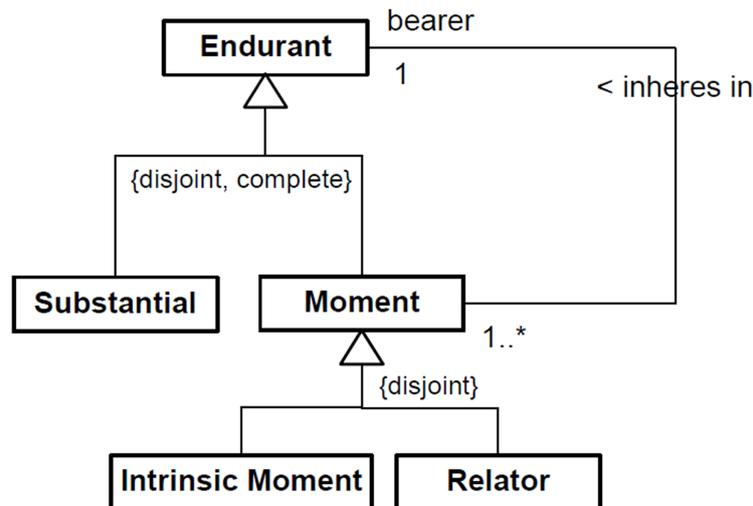


Figura 4.3: Fragmento da UFO que representa as distinções entre Momentos intrínsecos e momentos relacionais (GUIZZARDI, 2005)

de qualidade constitui uma dimensão de qualidade. Por outro lado, o universal Cor está associado a uma estrutura multidimensional, que inclui Brilho, Contraste e Saturação, de modo que esta estrutura constitui um domínio de qualidade. A percepção ou concepção de um momento pode ser representada como um ponto em uma estrutura de qualidade. Esse ponto é denominado *quale*. As entidades que compreendem Estrutura de Qualidade e Quale são, junto com conjuntos, números e proposições, exemplos de *Indivíduos Abstratos* (*Abstract Particulars*). A Figura 4.4 representa a relação entre universais de substância, universais de qualidade e estruturas de qualidade.

A UFO também prevê Momentos Intrínsecos Universais que não estão associados a estruturas de qualidade, nestes casos são chamados *Modos* (*Modes*). Modos denotam indivíduos que dependem existencialmente de outros indivíduos, mas que podem ser conceitualizados em termos de múltiplas dimensões de qualidade separáveis, como ocorre com os indivíduos substanciais. Neste sentido, modos podem ter outros momentos intrínsecos inerentes a eles. Exemplos de modos incluem: pensamentos, crenças, desejos, habilidades, sintomas.

Diferentemente dos momentos intrínsecos, *Momentos Relacionais* (*Relational Moments* ou *Relators*) dependem de vários indivíduos e correspondem estreitamente à noção de relação em modelos conceituais. A UFO distingue os momentos relacionais das *relações* (*Relations*). As relações são entidades que aglutinam outras entidades e dividem-se em duas categorias amplas: relações formais (*formal relations*) e relações materiais (*material relations*). Relações formais acontecem entre duas ou mais entidades diretamente, sem que haja necessidade de que outro indivíduo intervenha. Relações formais incluem as relações da superestrutura matemática da própria UFO: *dependência existencial*, *parte-de*, *subconjunto-de*, *instanciação*, etc. Também são relações formais as relações de comparação, estabelecidas no domínio, tais como: *maior que*, *mais velho que*, etc. As relações formais de comparação são completamente fundadas nos momentos intrínsecos que estão sendo comparados. Relações Materiais, por outro lado, possuem estrutura material própria e incluem exemplos como: *trabalhar em*, *estar matriculado em*, etc. Neste sentido, por exemplo, a relação formal entre João e seu conhecimento *x* de Grego acontece diretamente, desde que João e *x* existam. Já para que aconteça

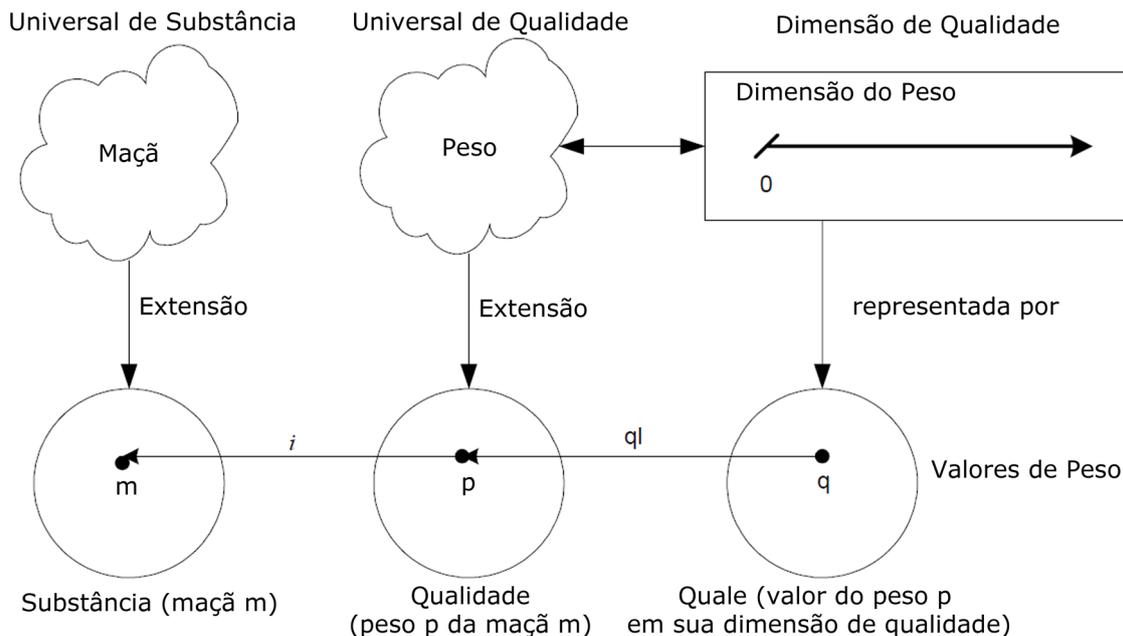


Figura 4.4: Representação da relação entre universais de substância, universais de qualidade e dimensões de qualidade. Nesta figura,  $i$  representa uma relação de inerência, no sentido de que o indivíduo de qualidade  $p$  é inerente ao indivíduo de substância  $m$ . Já  $ql$  representa a relação entre o indivíduo de qualidade  $p$  e um quale  $q$ , que representa o seu valor, na dimensão da qualidade. Figura adaptada de (GUIZZARDI, 2005)

uma relação material *ser tratado em* entre João e uma unidade médica, é necessário que exista uma outra entidade, chamada tratamento, para mediar João e a unidade médica. Essas entidades que conectam (mediam) outros indivíduos são momentos relacionais. Assim, um tratamento médico conecta um paciente a uma unidade médica, bem como uma matrícula conecta um estudante a uma instituição de ensino.

A UFO distingue os Universais de Substância em duas grandes especializações: *Universais Sortais (Sortal Universals)* e *Universais Mistos (Mixin Universals)*. Os Universais Sortais são Universais de Substância que fornecem, entre outros, *princípio de identidade (PI)* e *princípio de unicidade (PU)*. O PI suporta o julgamento de se duas instâncias de um Universal são a mesma, quanto o PU suporta a individualização dos indivíduos de um universal, permitindo julgar quais são suas partes, de modo que seja possível compreender este indivíduo como uma totalidade integral. Neste sentido, é o princípio de unicidade que relaciona as partes que compõem a totalidade de um objeto. Os Universais Mistos, por sua vez, são definidos pela UFO como universais dispersivos que generalizam vários universais com diferentes princípios de identidade.

Entre os Universais Sortais, utilizando como critério a propriedade de rigidez, a UFO estabelece dois grandes tipos de Universais: *Sortais Universais Rígidos (Rigid Sortal Universals)* e *Sortais Universais Anti-rígidos (Anti-Rigid Sortal Universals)*. Um universal sortail rígido é aquele cujos indivíduos são os mesmos em todos os mundos possíveis (no sentido modal). Um indivíduo de um universal sortail rígido não deixa de sê-lo sem deixar de existir. Por exemplo, uma Pessoa só deixa de ser uma Pessoa quando deixa de existir. Consequentemente, Pessoa é um Sortail Rígido. Por outro lado, universais sortais anti-rígidos são aqueles que não são necessários para qualquer um dos indivíduos. Neste sentido, Estudante é um universal sortail anti-rígido, uma vez que uma

pessoa pode deixar de ser Estudante, sem deixar de existir.

Há três tipos fundamentais de universais sortais rígidos previstos pela UFO: *Tipo (Kind)*, *Coletivo (Collective)* e *Quantidade (Quantity)*. Os Tipos constituem universais cujos indivíduos são complexos funcionais, tais como: Pessoa, Maçã, Carro, etc. Os Coletivos constituem universais cujas instâncias são coleções de complexos funcionais que possuem uma estrutura uniforme, tais como: Baralho, Manada, Revoada, Floresta, etc. As Quantidades, por sua vez, representam porções de matéria maximalmente autoconectada, de modo que possuem identidade e unicidade determinadas. Quantidades incluem: Ouro, Madeira, Água. É importante salientar que Quantidades referem-se a porções determinadas de matéria, de modo que podem ser compreendidos como objetos genuínos (porções objetificadas de matéria).

Entre os universais sortais anti-rígidos, a UFO prevê dois tipos de universais: *Papéis (Roles)* e *Fases (Phases)*. Papéis são universais relacionalmente dependentes. Um indivíduo desempenha um Papel quando está relacionado a uma entidade externa ou quando participa de eventos. Fases são universais relacionalmente independentes, que definem diferentes estágios de um universal. Fases definem partições disjuntas de um conjunto, de modo que um indivíduo só pode estar em uma dessas fases em um determinado mundo. O indivíduo de um certo universal pode passar por diversas fases ao longo da sua existência devido a ocorrência de mudanças intrínsecas, sem perder a identidade. Por exemplo, Criança, Adolescente e Adulto são diferentes fases de Pessoa.

O Universais mistos, por suas vez, são distinguidos em três tipos de universais: *Categorias (Category)*, *Papéis mistos (Role Mixin)* e *Misturas (Mixin)*. Estes universais podem ser compreendidos como generalizações de universais sortais distintos, de modo que são distinguidos em função da sua rigidez. Categorias são universais que abstraem uma característica essencial a indivíduos de diversos universais disjuntos, sendo em si mesmo um Universal rígido. Um exemplo de Categoria é Entidade Racional, que abstrai uma característica essencial compartilhada por Pessoa e Agente Artificial. Papéis mistos são universais que abstraem propriedades que são acidentais (não essenciais) a todas as suas instâncias, de modo que podem ser compreendidos como generalizações de múltiplos papéis distintos. Um exemplo de papel misto é Cliente, que generaliza Cliente Pessoal (desempenhado por Pessoa) e Cliente Corporativo (desempenhado por Organização). Já as Misturas abstraem propriedades que são essenciais para algumas de suas instâncias, mas acidentais para outras. Um exemplo de mistura é Objeto Sentável, que abstrai propriedades que são essenciais para Cadeira e Banco, mas acidentais para Mesa. A Figura 4.5 apresenta as distinções entre os diferentes tipos de universais de substância.

Na UFO-A também estão definidas quatro relações partonômicas com semânticas distintas, baseadas nos tipos de entidades que elas relacionam:

**componentOf:** Consiste em uma relação partonômica que é estabelecida entre dois complexos funcionais (*Tipos*). Exemplos de ocorrência desta relação incluem: um motor é parte de um carro, um coração é parte de um sistema circulatório, etc.

**subQuantityOf:** Consiste em uma relação partonômica que é estabelecida entre duas *Quantidades*. Exemplos de ocorrência desta relação incluem: álcool é parte do vinho, plasma é parte do sangue, açúcar é parte do sorvete, etc.

**subCollectionOf:** Consiste em uma relação partonômica que é estabelecida entre dois *Coletivos*. Exemplos de ocorrência desta relação incluem: a parte norte da floresta é parte da floresta, a coleção de ases de um baralho de cartas é parte do baralho de cartas, etc.

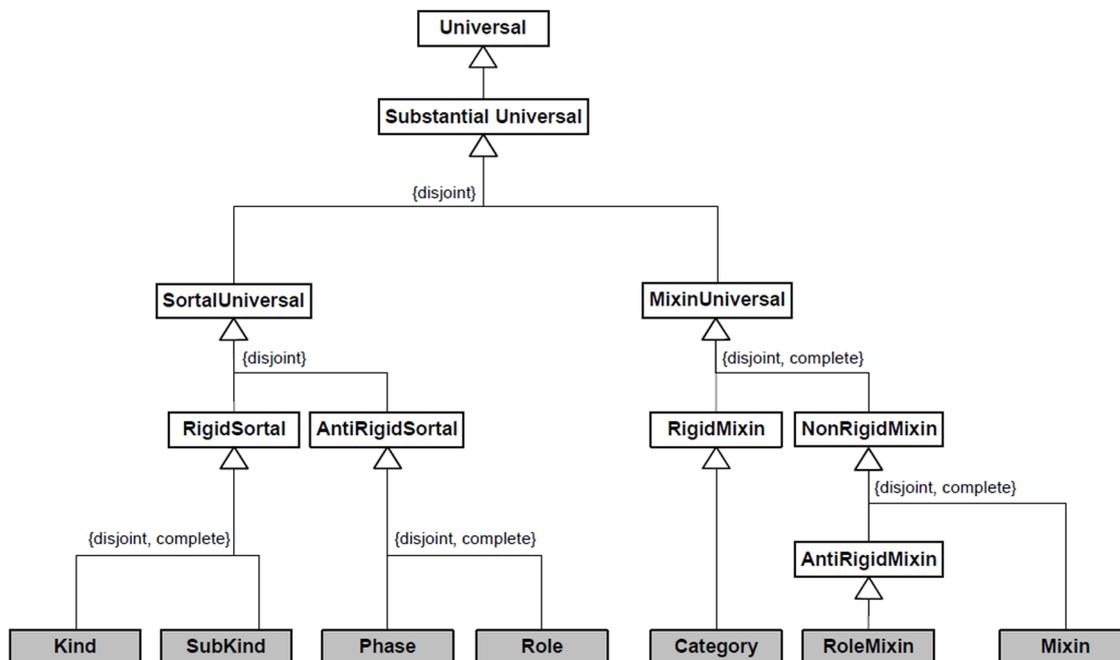


Figura 4.5: Representação de fragmento da UFO que apresenta a taxonomia de universais de substância(GUIZZARDI, 2005)

**memberOf:** Consiste em uma relação paronômica que é estabelecida entre um complexo funcional (*Tipo*) ou Coletivo, como partes, e um *Coletivo*, como totalidade. Exemplos da ocorrência desta relação incluem: uma árvore é parte da floresta, uma carta é parte de um baralho de cartas, etc.

Em relação à UFO-B, o conceito fundamental é o de *Evento Universal* (*Event Universal*), constituindo possíveis transformações de uma situação da realidade para outra, ou seja, eventos podem alterar o estado de coisas de um estado (pré-estado) para outro (pós-estado). Uma *Situação* (*Situation*), neste sentido é um Universal Duradouro que representa o estado de coisas (*state of affairs*). Os eventos podem ser de dois tipos: *Evento Atômico* (*Atomic Event*) ou *Evento Complexo* (*Complex Event*). Eventos atômicos são aqueles que não podem ser decompostos em outros eventos, tais como: uma explosão, o recebimento de uma mensagem, etc. Eventos complexos são compostos por outros eventos, como: uma partida de futebol, uma guerra, etc. Eventos são entidades ontologicamente dependentes, uma vez que dependem de seus participantes para ocorrerem. Por exemplo, seja o evento *e*: o ataque de Brutus a César. Nesse evento há participação de César, Brutus e da faca utilizada no ataque. Então, *e* é composto pela participação individual de cada uma dessas entidades. Cada *participação* (*Participation*) é existencialmente dependente de um único substancial e pode ser por si só um Evento Atômico ou um Evento Complexo.

## **5 TÉCNICAS DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO**

A aquisição de conhecimento é reconhecida na literatura como uma tarefa que desempenha um papel crítico tanto na construção de sistemas baseados em conhecimento, no âmbito da Engenharia do Conhecimento, quanto no desenvolvimento de ontologias, no âmbito da Engenharia de Ontologias. Costuma-se afirmar que esta tarefa constitui um gargalo (SCHREIBER et al., 1999; HOFFMAN, 1987), uma vez que é esta etapa que determina a qualidade do conhecimento que será manipulado em sistemas baseados em conhecimento ou que será capturado em ontologias, para usos diversos. Devido a este caráter crucial da tarefa, dada a sensibilidade dos resultados à qualidade do conhecimento adquirido, convém que ela seja realizada de modo meticuloso e fundamentado, tentando minimizar os problemas que podem ocorrer neste processo.

Neste capítulo serão discutidas algumas técnicas já consolidadas na literatura, para realizar este processo, segundo a classificação apresentada em (ABEL, 2001).

### **5.1 Imersão na literatura**

A imersão na literatura corresponde a um primeiro passo de aproximação que o Engenheiro de Conhecimento faz do domínio. Neste passo, o objetivo não é exatamente compreender o domínio, mas ambientar-se, principalmente da terminologia que o especialistas utilizará durante as entrevistas que se seguirão (ABEL, 2001). Esta familiarização evita problemas de ordem interpessoal que podem surgir entre o Engenheiro de Conhecimento e o Especialista. Quando o especialista percebe que o Engenheiro de Conhecimento não tem um domínio básico do vocabulário, a conversa pode parecer extenuante para o especialista, de modo que ele pode desistir do objetivo de falar profundamente sobre o domínio nas entrevistas que se seguem. Ou seja, quando o engenheiro de conhecimento dá sinais de que não compreende a terminologia, o especialista tende a usar um vocabulário que ele utilizaria para conversar com novatos ou leigos. Como consequência, o vocabulário associado ao conhecimento que o especialista realmente utiliza durante a resolução de problemas, permanecerá oculto. Este passo também permite intuir algumas conexões terminológicas que poderão ser utilizadas para guiar as entrevistas futuras. É comum também a realização de novas imersões na literatura, quando houver a necessidade.

### **5.2 Entrevistas não estruturadas**

Corresponde à técnica inicialmente utilizada em qualquer projeto de Engenharia do Conhecimento. Esta técnica envolve a realização de um primeiro diálogo com o

especialista, onde são lançadas questões sobre diversos aspectos do domínio, incluindo sua estrutura geral e noções gerais do problema que se quer resolver e sobre os procedimentos utilizados para resolvê-lo. Entrevistas não estruturadas apresentam poucas restrições, no sentido de que não há um conjunto de perguntas previamente formuladas, uma ordem para as perguntas ou mesmo um rumo pré-definido para o diálogo. As restrições que guiam este diálogo são vagas, o que permite que o diálogo seja conduzido de forma mais exploratória, onde os rumos são ditados pelas necessidades que se apresentam. Neste sentido, espera-se capturar o conhecimento do domínio de uma granularidade mais alta, compreendo noções e estruturas mais gerais. Perguntas comuns nesta etapa são: “Quais os objetivos deste domínio?”, “Como você resolve este problema?”, etc. Conforme (SCHREIBER et al., 1999; BONACETO; BURNS, 2007), esta técnica é ideal para estabelecer um bom relacionamento com o especialista e deixá-lo confortável para discursar sobre o domínio da maneira que está familiarizado em fazer. No entanto, uma vez que o especialista se sinta confortável para falar livremente sobre seu domínio de trabalho, ele pode se estender em tópicos que não pertencem ao escopo dos objetivos do projeto e negligenciar a importância dos aspectos que são realmente relevantes do ponto de vista do engenheiro de conhecimento.

### 5.3 Entrevistas estruturadas

Como o nome da técnica sugere, ela envolve a pré-definição de questões pertinentes aos objetivos do projeto em desenvolvimento, com o intuito de evidenciar apenas o conhecimento necessário (TURBAN; FRENZEL, 1992; SCHREIBER et al., 1999; BONACETO; BURNS, 2007). Além disso, também estabelece-se a ordem em que as questões previamente elaboradas serão submetidas ao especialista. Neste sentido, esta técnica é mais formal que a das entrevistas não estruturadas. Deve-se realizar uma etapa prévia à entrevista, onde as questões e a ordem delas serão concebidas, possivelmente, a partir do conhecimento amplo do domínio eliciado com a técnica de entrevistas não-estruturadas.

Entrevistas estruturadas são úteis quando se faz necessário preencher lacunas ainda existentes no conhecimento do domínio para o engenheiro de conhecimento. É através deste processo que se detalham as informações necessárias para o modelo.

Entrevistas estruturadas são preparadas para serem específicas ao domínio em questão, por isso é difícil encontrar guias para a aplicação desta técnica, de modo que o mais importante é a capacidade de análise e comunicação do entrevistador (TURBAN; FRENZEL, 1992; SCHREIBER et al., 1999).

Entrevistas estruturadas são úteis para aumentar o grau de proximidade entre o engenheiro de conhecimento e o especialista, bem como para aprofundar o conhecimento de domínio que foi identificado superficialmente em fases anteriores (como a da imersão da literatura e a da entrevista não estruturada). A vantagem desta técnica em relação à imersão na literatura, é que através dela o engenheiro de conhecimento é exposto ao conhecimento de domínio pela visão do especialista. Esta técnica deve ser aplicada em estágios iniciais do processo, para definir o escopo da aplicação, para caracterizar o domínio e para planejar os próximos passos do processo de aquisição e apontar técnicas mais adequadas para as próximas etapas.

## 5.4 Técnicas de observação

O método consiste em observar a realização da tarefa de interesse pelo especialista, em um ambiente familiar ao especialista, disponibilizando os recursos que ele tradicionalmente manipula para resolver o problema (LIOU, 1990). Esta técnica permite que o especialista trabalhe no ambiente a que está acostumado, sem interrupções de qualquer natureza externa à tarefa, proporcionando ao engenheiro do conhecimento uma visão geral da complexidade do problema a ser resolvido. A observação permite a racionalização do comportamento exibido pelo especialista ao longo da resolução do problema. Neste processo, podem ser identificadas estratégias de resolução de problemas que são utilizadas de forma inconsciente pelo especialista; para estudar habilidades motoras, perceptuais ou procedimentos automáticos que são utilizados como recursos na realização da tarefa; para identificar os passos envolvidos na resolução do problema; para sugerir as limitações e restrições da tarefa em foco; para identificar o conjunto de informações necessárias para a realização da tarefa e para validar as descrições que o especialista forneceu sobre aquilo que ele realmente faz.

O procedimento padrão na utilização desta técnica envolve estabelecer um contato visual com o processo de resolução de problemas executado pelo especialista. A observação pode ser realizada de forma direta e indireta. Na observação direta o engenheiro de conhecimento presencia a execução da tarefa pelo especialista. Esta presença pode ser um fator problemático que interfere no comportamento convencional do especialista quando realiza esta tarefa em situações normais. Na observação indireta, o processo de resolução de problemas executado pelo especialista é registrado (através de câmeras filmadoras) e assistido posteriormente. Este procedimento é menos intrusivo, de modo que interfere menos no comportamento do especialista que a observação direta. No entanto, esta abordagem consome mais tempo, uma vez que a realização da tarefa e a verbalização e análise são realizadas em momentos distintos. Considerando que o especialista é um profissional caro e janelas restritas de tempo, esta característica deve ser considerada na escolha das técnicas.

Apesar desta técnica ser bastante útil em tarefas em que vários passos de ação externa são realizados pelos especialista durante a resolução de problemas, a observação tem como ponto fraco a impossibilidade de evidenciar diretamente processos internos de raciocínio que não possuem manifestação externa no comportamento visível do especialista. Além disso, técnicas de observação não podem ser utilizadas isoladamente, porque, ao contrário das outras técnicas de aquisição, que podem ser focadas em aspectos específicos, é impossível pedir para que o especialista execute uma única parte da tarefa total. Uma ação depende dos passos anteriores, de modo que torna-se difícil segmentar o comportamento total, o que dificulta a interpretação das informações levantadas.

## 5.5 Limitação de informações e restrição de processamento

Esta classe de técnicas (HOFFMAN, 1987; HOFFMAN; LINTERN, 2006), também conhecidas como focalização de contextos, envolve limitar a informação oferecida ao especialista para a resolução de problemas. A sua utilidade fundamental é oferecer pistas sobre quais informações são necessárias e em quais etapas da resolução de problemas. Pode-se adotar a abordagem de limitação progressiva de informações, de modo que o especialista demonstre qual é o mínimo das informações necessárias para a realização da tarefa.

Outra forma desta família de técnicas é restringir deliberadamente o raciocínio do especialista, alterando a maneira de como ele é realizado. As restrições podem ser de diversas naturezas, como as restrições de tempo, por exemplo. Em (HOFFMAN, 1987), por exemplo, utilizou-se esta técnica com analistas de terrenos na tarefa de interpretação de fotos aéreas. Neste caso, foram exibidas diversas fotos que os analistas costumam interpretar, mas durante um intervalo de tempo muito mais restrito (2 minutos) do que os especialistas dispõem para realização desta mesma tarefa em situações convencionais (horas ou dias). Ao fim, foi requisitado que os especialistas verbalizassem tudo que conseguiam lembrar destas fotos. Já em (ABEL, 2001), esta técnica foi utilizada para analisar o desempenho de geólogos novatos e especialistas ao analisar uma série de imagens sobre rochas. Os resultados revelam até que ponto os especialistas são capazes de adquirir uma percepção imediata do conteúdo relevante das imagens e conseguem elaborar interpretações efetivas.

Uma outra abordagem desta mesma classe de técnicas é a chamada 20 perguntas (GROVER, 1983; MILTON; CLARKE; SHADBOLT, 2006). Nesta abordagem o especialista recebe o mínimo de informações sobre o problema e deve perguntar ao engenheiro de conhecimento as informações adicionais, necessárias para resolver o problema de forma adequada. As informações requisitadas pelo especialista, bem como a ordem em que foram requisitadas revela informações importantes a respeito da estratégia de resolução de problemas empregada pelo especialista.

## **6 ESTRATIGRAFIA SEDIMENTAR**

A investigação realizada neste trabalho, continuando a proposta do projeto Obaitá, foi conduzida no domínio da Estratigrafia Sedimentar, uma sub-área da Geologia. Este domínio foi selecionado, em primeiro lugar, porque apresenta características que desafiam as abordagens tradicionais oferecidas pela Ciência da Computação em termos de aquisição e representação de conhecimento e resolução de problemas. Entre estas características podemos citar: o fato de ser fortemente fundamentado em conhecimento visual, o fato de ser de estruturação complexa, envolver a resolução de uma série de problemas mal estruturados por parte do especialista, não possuir uma separação clara entre o conhecimento descritivo e conhecimento interpretativo no domínio, etc. Em segundo lugar, este domínio é de fundamental importância tanto científica quanto econômica, uma vez que é através dos estudos da Estratigrafia Sedimentar que são determinadas as condições de geração e atual distribuição espacial de depósitos minerais importantes, especialmente os de origem orgânica como carvão e petróleo. A seguir será apresentada uma visão geral do domínio, em que serão evidenciados os principais conceitos, objetivos do domínio, bem como a tarefa específica que constitui o foco deste trabalho.

### **6.1 Visão geral da Estratigrafia Sedimentar**

A Estratigrafia Sedimentar, consiste em uma sub-área da Geologia que, em sua concepção tradicional, é voltada à descrição, correlação e classificação dos estratos de rochas sedimentares (PRESS et al., 2004). Esta visão é totalmente centrada na rocha, que é compreendida como um registro de eventos do passado. Deste modo, este domínio investiga as exposições rochosas, que podem ser afloramentos ou testemunhos de sondagem, buscando explicar os processos de formação de sucessões sedimentares, gerados pela desagregação, transporte e deposição de sedimentos originados de outras rochas. Nas Figuras 6.1 e 6.2, apresenta-se um exemplo de afloramento rochoso e um exemplo de testemunho de sondagem, respectivamente.

A concepção mais moderna da Estratigrafia é denominada Estratigrafia de Sequências e considera o estudo das relações entre rochas sedimentares dentro de um arcabouço cronoestratigráfico de estratos geneticamente relacionados e limitados por superfícies de erosão e não deposição, ou por suas concordâncias relativas (FÁVERA, 2001). As sequências correspondem ao conjunto dos sedimentos depositados no intervalo de tempo de um ciclo de oscilação do nível do mar em termos continentais. A interpretação desses episódios e seus registros envolvem a análise e interpretação integrada de dados sedimentológicos e estratigráficos obtidos na sísmica, em perfis geofísicos de poços, em testemunhos e em afloramentos.

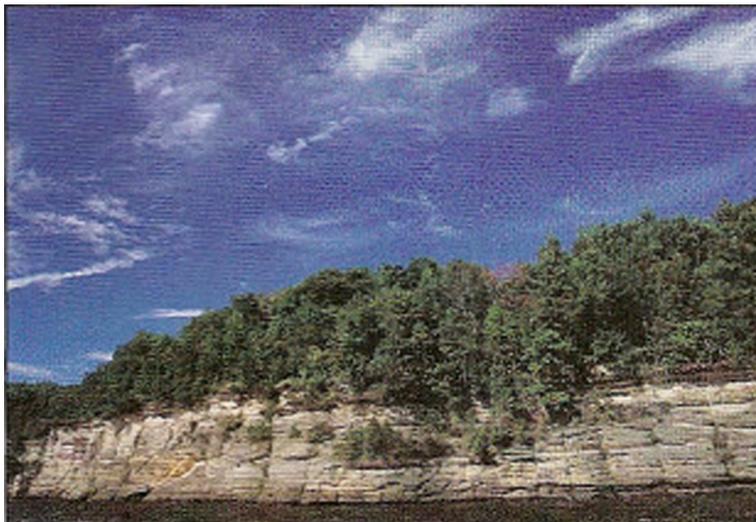


Figura 6.1: Exemplo de afloramento de rocha. Extraída de (PRESS et al., 2004)

Os resultados alcançados através das investigações realizadas pela Estratigrafia Sedimentar são cruciais para a compreensão de ocorrências de reservas de recursos naturais, tais como o petróleo. É através de informações levantadas neste domínio que pode-se inferir a localização das acumulações de certos recursos naturais ao longo da extensão (em superfície ou subsuperfície) do planeta, bem como determinar a possível geometria de reservatórios subterrâneos destes recursos, determinar a possível quantidade de recursos armazenados nestes reservatórios e, conseqüentemente, permitir a realização de estudos de viabilidade econômica de extração destes recursos, bem como conduzir este processo de extração de uma maneira informada.

Embora a Estratigrafia Sedimentar inclua a descrição de rochas siliciclásticas, químicas, biológicas e, eventualmente, vulcânicas, este trabalho restringe o escopo, considerando apenas o estudo das rochas clásticas, com a hipótese de que as contribuições realizadas possam ser estendidas às demais classes de rochas.

Os conceitos de fácies sedimentar, estrutura sedimentar, de processo deposicional (ou processo sedimentar) e ambiente sedimentar são fundamentais para as atividades do domínio. Um ambiente sedimentar corresponde a uma área da superfície terrestre com características físicas, químicas e biológicas que a distinguem das áreas adjacentes. Os ambientes sedimentares são classificados de acordo com a predominância dos processos que ocorrem neles. Neste sentido, ambientes sedimentares podem ser: (a) erosivos, quando predominam processos erosivos; (b) neutros, quando a região apresenta processos erosivos e deposicionais pouco significativos; ou (c) deposicionais, quando predominam processos de acumulação (deposição) de sedimentos. Os ambientes sedimentares também são conhecidos como ambientes de sedimentação ou ambientes deposicionais, e são caracterizados e classificados em função dos diversos processos deposicionais que ocorrem neles. As características físicas englobam as variações de velocidade e sentido do meio de transporte, que pode ser vento, onda ou água corrente; bem como características climáticas de diversos tipos. As propriedades químicas abrangem a composição da água nos ambientes subaquáticos e a geoquímica das rochas. As propriedades biológicas estão ligadas às associações de flora e fauna, uma vez que animais e vegetais influenciam as taxas de erosão e deposição ou as propriedades físico-químicas dos sedimentos já depositados (SUGUIO, 2003).



Figura 6.2: Exemplo de testemunho de sondagem. Adaptada de (CASTRO; PERINOTTO; CASTRO, 1999)

Os ambientes sedimentares são geralmente agrupados de acordo com sua localização e condições ambientais. Sua localização pode ser nos continentes, nas regiões costeiras ou nos oceanos. As condições ambientais incluem o tipo e quantidade de água (oceano, lago, rio e terra árida), o relevo (terras baixas, montanhas, planícies costeiras e oceano raso ou profundo) e a atividade biológica (PRESS et al., 2004). A Figura 6.3 apresenta um esquema em que são representados os diversos ambientes sedimentares e suas localizações.

O ambiente sedimentar constitui o objeto final de estudo da Estratigrafia Sedimentar, ou seja, trata-se do objetivo final do processo de interpretação. A análise estratigráfica de ambientes sedimentares inicia com a coleta de dados que podem originar de duas fontes principais: dados de afloramentos na superfície e dados de subsuperfície que são geralmente dados de logs de poços, perfis sísmicos e testemunhos de sondagem. A observação e descrição detalhada de fácies, sejam de afloramentos ou testemunhos de sondagem, bem como a interpretação de processos deposicionais a partir destas descrições, são determinantes para a interpretação de ambientes sedimentares. Por exemplo, um ambiente deposicional fluvial (associado à existência de um ou mais rios) terá como principal processo deposicional as correntes trativas, onde a água é o meio que transporta os sedimentos por arrasto. O presente trabalho restringe-se apenas à tarefa de interpretação de processos deposicionais, de modo que a interpretação de ambientes deposicionais não será abordada. No entanto, espera-se que a abordagem proposta neste trabalho seja o passo inicial para um tratamento computacional da interpretação de ambientes sedimentares. Esta possibilidade deverá ser investigada em trabalhos futuros.

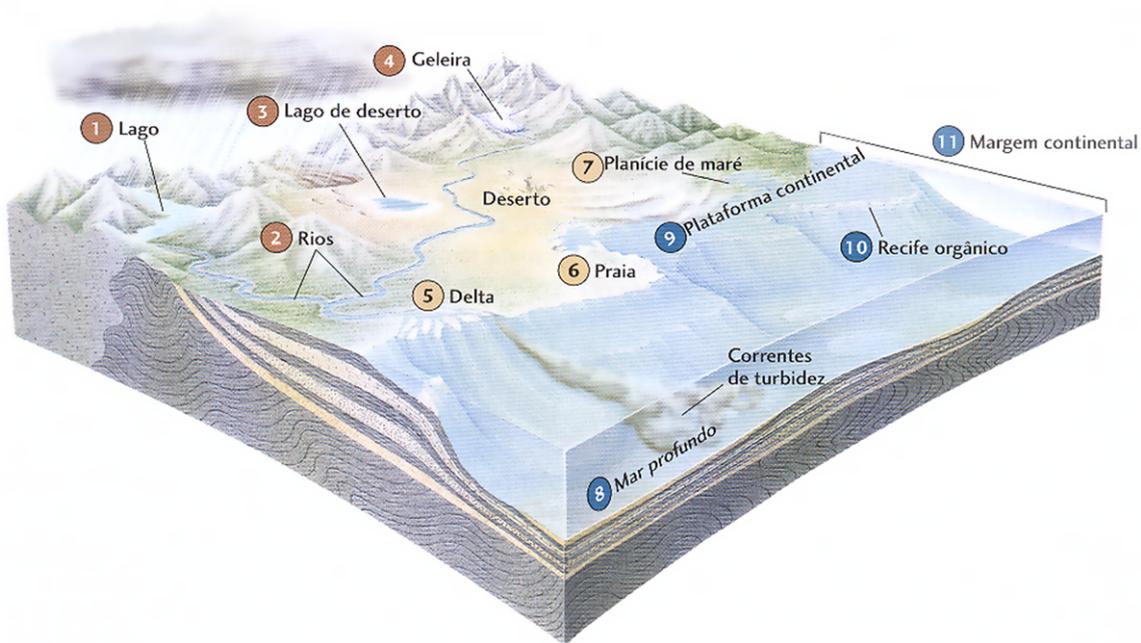


Figura 6.3: Esquema em que são representados os diversos ambientes sedimentares e suas localizações. Extraído de (PRESS et al., 2004)

Fácies Sedimentar (do latim *facies*, que significa face) corresponde à menor unidade que compõem um pacote de rochas sedimentares e corresponde ao conjunto de aspectos litológicos e paleontológicos de um depósito sedimentar (FÁVERA, 2001). Assim, podemos compreender a fácies sedimentar como uma determinada porção de rocha que apresenta uma certa homogeneidade em seu aspecto, e que se distingue das porções de rocha adjacentes a ela em um mesmo corpo de rochas, em função da identificação de heterogeneidades significativas em um ou mais dos seus atributos (PROTHERO, 1991). Assume-se que cada fácies constitui o resultado direto da ocorrência de um processo deposicional, de modo que facies sedimentares registram e permitem a reconstrução interpretativa do seu processo deposicional formador. Na Figura 6.4 apresenta-se um testemunho de sondagem em escala, com duas fácies destacadas.

As estruturas sedimentares correspondem a padrões geométricos externamente visíveis que indicam padrões de arranjos espaciais de grãos de uma fácies. As estruturas são organizadas em uma taxonomia com diversos tipos que correspondem a abstrações de padrões geométricos registrados nas rochas, de modo recorrente no domínio. Neste sentido, estas entidades são ricas em informações visuais e são de difícil caracterização, de modo que existem dificuldades intrínsecas em explicitar através de símbolos linguísticos uma caracterização completa de uma estrutura. Existem diversos tipos de estruturas sedimentares, tais como: biogênicas, químicas e diagenéticas, de deformação, de topo e base de camada, e deposicionais. O arranjo espacial dos grãos que caracteriza o aspecto visual de uma estrutura sedimentar registra diretamente a dinâmica da ocorrência do processo deposicional que a gerou, portanto, a definição taxonômica das estruturas sedimentares constitui uma tarefa fundamental para realizar os objetivos deste trabalho. Nas Figuras 6.5, 6.6 e 6.7 são apresentados exemplos de estruturas sedimentares.

Processos deposicionais são os processos responsáveis por transportar partículas clásticas (fragmentos de outras rochas) até o local de sedimentação. Estes processos correspondem a interações complexas entre diversas forças físicas e sedimentos em um

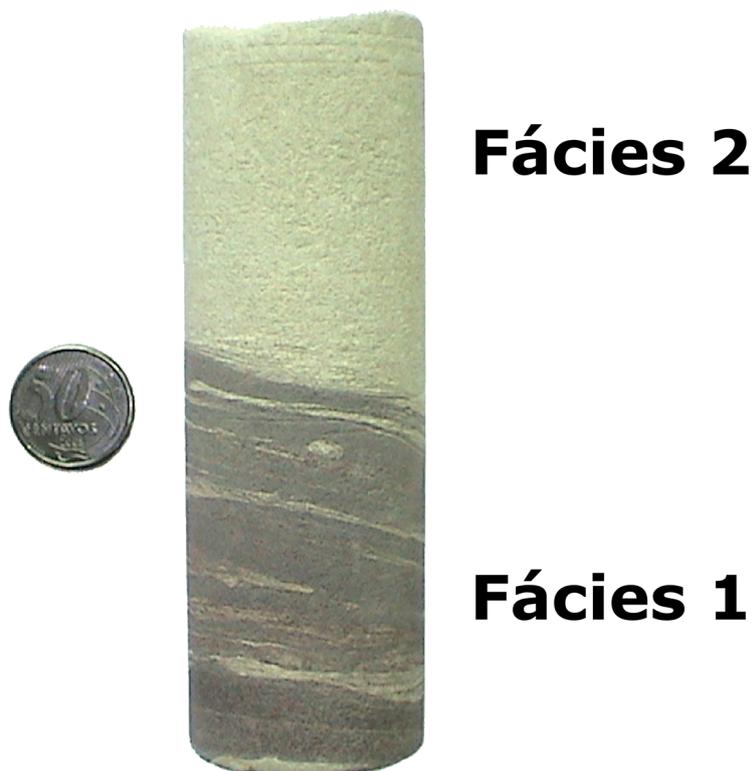


Figura 6.4: Exemplo de testemunho de sondagem, em escala, com duas fácies destacadas. Adaptada de (LORENZATTI, 2009)

dado ambiente, e são considerados os responsáveis diretos pela organização espacial das partículas clásticas transportadas e depositadas, gerando os padrões visuais que definem estruturas sedimentares. Assim, processos deposicionais correspondem a dinâmicas que ocorrem no ambiente, responsáveis pelo transporte e deposição de sedimentos que, ao longo do tempo, consolidam-se em rochas, originando fácies sedimentares. Neste sentido, assume-se no domínio que cada fácies sedimentar corresponde ao resultado direto da ocorrência de um único processo deposicional, de modo que a fácies sedimentar participa do processo deposicional como o resultado final da sua ocorrência. Os processos deposicionais podem ser de diversos tipos, que possuem características próprias, descrevendo diferentes maneiras gerais de transporte e deposição sedimentar, que ocorrem em função de diferentes condições ambientais e forças físicas atuando.

### 6.1.1 Tarefa de interpretação de processos deposicionais

A tarefa específica do domínio que constitui o foco deste trabalho é a interpretação de processos deposicionais a partir da inspeção visual de fácies sedimentares. Os objetivos finais das investigações estratigráficas são a interpretação do ambiente deposicional e a elaboração de uma narrativa histórica coerente, onde os registros observados (exposições rochosas) são explicados como sendo resultados da sucessão de ocorrências de processos deposicionais nas condições ambientais que propiciaram esta ocorrência. Assim, a tarefa de interpretação de processos deposicionais insere-se neste contexto, como uma etapa a ser cumprida para alcançar este objetivo.

A investigação estratigráfica inicia com a observação dos registros, que neste caso podem ser corpos de rocha de dois tipos: afloramentos ou testemunhos de sondagem.



Figura 6.5: Exemplo de estrutura sedimentar, retirado de (COLLINSON, 2005)



Figura 6.6: Exemplo de estrutura sedimentar, retirado de (COLLINSON, 2005)

Estes corpos de rocha, por sua vez, são segmentados em unidades que correspondem a fácies sedimentares. Esta segmentação é realizada através da constatação de discontinuidades significativas nos atributos descritivos ao longo do corpo de rochas observado. Uma vez determinado o conjunto de fácies, o geólogo as descreve uma a uma, atribuindo valores específicos para cada um dos seus atributos descritivos. A partir deste conjunto de descrições de fácies, para cada uma das fácies, o geólogo interpreta o possível processo deposicional responsável pela sua geração. O processo deposicional interpretado deve explicar as feições visuais observadas na fácies. Assim, o geólogo assume que as características visuais da fácies sedimentar registram as características dos seus respectivos processos deposicionais geradores.

A Figura 6.8 apresenta um modelo esquemático informal do domínio, destacando os principais objetos e como eles estão relacionados do ponto de vista da interpretação realizada pelos geólogos.

## 6.2 Particularidades do conhecimento da Estratigrafia Sedimentar

Ao longo da realização deste trabalho, foram identificadas algumas particularidades do conhecimento e do processo de resolução de problemas na Estratigrafia Sedimentar. A compreensão fundamentada destas particularidades desempenha um papel fundamental na atividade de modelar a ontologia e os métodos de resolução de problemas do domínio,



Figura 6.7: Exemplo de estrutura sedimentar, retirado de (COLLINSON, 2005)

pois oferece um panorama das questões em aberto em relação ao conhecimento do domínio.

A Estratigrafia Sedimentar, como sub-campo da Geologia, tem como finalidade evidenciar e sistematizar conhecimento acerca dos processos formadores do planeta e sua evolução no tempo. Estes processos podem ocorrer em qualquer momento ou local, do início da formação do planeta até o tempo atual, e do núcleo do planeta até sua superfície. Para estudar estes processos, os únicos dados diretamente observáveis de que o geólogo dispõe são as exposições rochosas em superfície, ou testemunhos de sondagem em subsuperfície. Estas rochas são tomadas dentro da Geologia como registros esparsos, no tempo e no espaço, de seus processos formadores, que constituem o conhecimento que o geólogo busca, em última instância (FÁVERA, 2001).

Os processos responsáveis pelas formações rochosas podem ser físicos, químicos e biológicos. O estudo e compreensão destes processos, caracteriza a Geologia como uma ciência da natureza. Mas algumas características inserem graus de especificidade deste campo do conhecimento, em relação à demais ciências naturais. Entre estas características, destaca-se principalmente a necessidade de se considerar os objetos geológicos em escalas espaciais amplas, em escalas temporais amplas e como ocorrências em um sistema aberto (FÁVERA, 2001; PARAIZO, 2004).

O desenvolvimento dos processos geológicos se dá em um espectro amplo de escala espacial, de modo que podem ocorrer em escalas microscópicas, até escalas planetárias ou cosmológicas, conforme representado na Figura 6.9. Esta perspectiva faz com que o geólogo assuma a existência da influência entre processos que ocorrem em diversas escalas distintas. Deste modo, o geólogo é obrigado a lidar com uma complexa cadeia causal que envolve diferentes escalas espaciais (FÁVERA, 2001; PARAIZO, 2004).

De forma análoga ao que ocorre em relação à dimensão espacial, os processos geológicos também ocorrem em diversas escalas de tempo distintas. As unidades de tempo geológico envolvem milhões de anos, o que desafia a intuição humana de tempo. Deste modo, quando o geólogo depara-se com um registro, ele deve ter em mente que os indícios observados podem ser frutos de diversos eventos distintos, que ocorreram em diversas épocas, em diversas velocidades (FÁVERA, 2001; PARAIZO, 2004).

Por fim, os processos geológicos ocorrem de forma aberta, ou seja, em sistemas não isolados, cujas partes possuem vários graus de liberdade para interação. Assim, em um mesmo espaço e tempo, diversos processos estão ocorrendo e se inter-influenciando. Esta

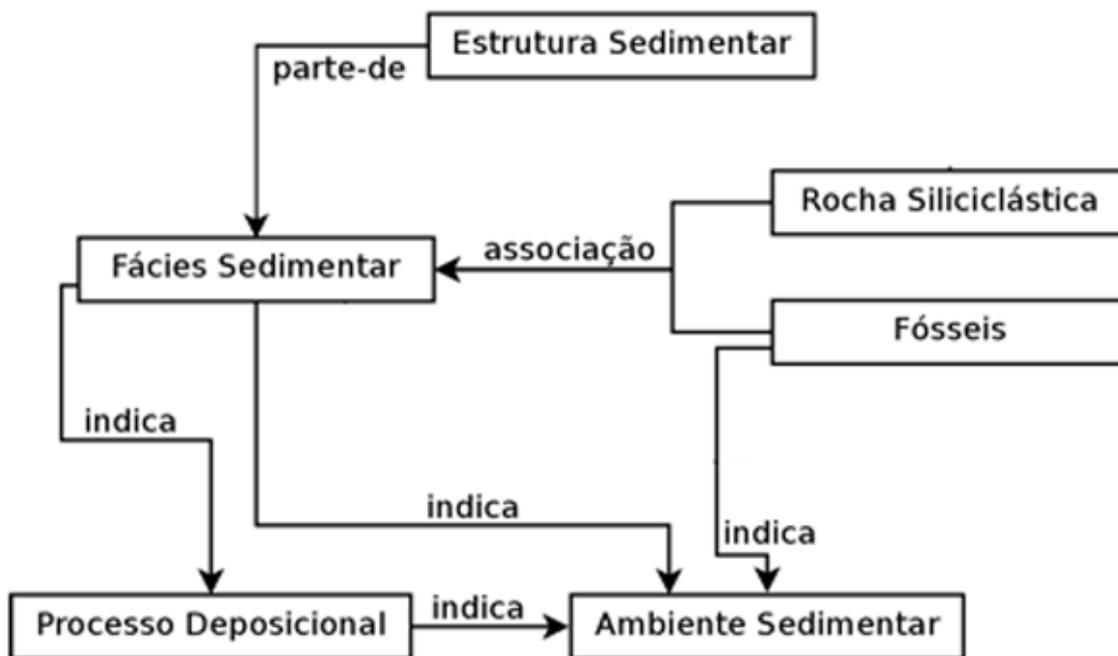


Figura 6.8: Modelo esquemático informal do domínio, apresentando os principais objetos e como eles estão relacionados do ponto de vista da interpretação realizada pelos geólogos

característica define a interpretação dos objetos geológicos como uma tarefa resultante da compreensão de uma enorme cadeia de relações causais (PARAIZO, 2004).

Além de constituir uma Ciência natural repleta de especificidades, a Estratigrafia Sedimentar também pode ser vista como uma Ciência histórica, uma vez que objetiva uma reconstrução histórica da evolução dos processos geológicos responsáveis pela constante transformação do planeta, unicamente a partir de registros preservados na atualidade (FRODEMAN, 1995). Lembrando que estes registros carregam em si uma sobreposição de indícios de processos locais e globais, ocorrendo em diversas escalas de tempo. Neste sentido, o detalhe, a especificidade, ganha bastante importância na Geologia, uma vez que o geral não esgota o conhecimento do fenômeno em foco. Estas características remetem a uma insuficiências das leis, teorias e conceitos em conseguir explicar completamente qualquer fenômeno geológico.

Outro aspecto importante do conhecimento geológico é o fato dos objetos geológicos serem, em grande parte, ocultos. Mesmo em fenômenos que ocorrem na superfície e contemporaneamente, o objeto não está presente como uma totalidade ao geólogo. Ou seja, a observação do geólogo captura apenas instantes desta ocorrência total, ou ainda, meros indícios estáticos da ocorrência de um processo dinâmico. Neste sentido, o geólogo tem a necessidade de reconstruir este dinamismo a partir dos registros estáticos ou a totalidade que ainda ocorre a partir de pequenos instantes observado desta ocorrência total. Desta forma, a habilidade de imaginar cenários e possibilidades de ocorrências dos processos nestes cenários é fundamental para o geólogo (FÁVERA, 2001; PARAIZO, 2004).

Estas características tornam a Geologia como um todo, uma Ciência natural e histórica, repleta de especificidades. Estas especificidades apontam para uma impossibilidade da reconstrução artificial (em laboratório) precisa do objeto de interesse (um processo formador) a partir do registro observado, uma vez que o processo específico pode ser entendido como o resultado da atuação de condições particulares ao tempo e ao espaço

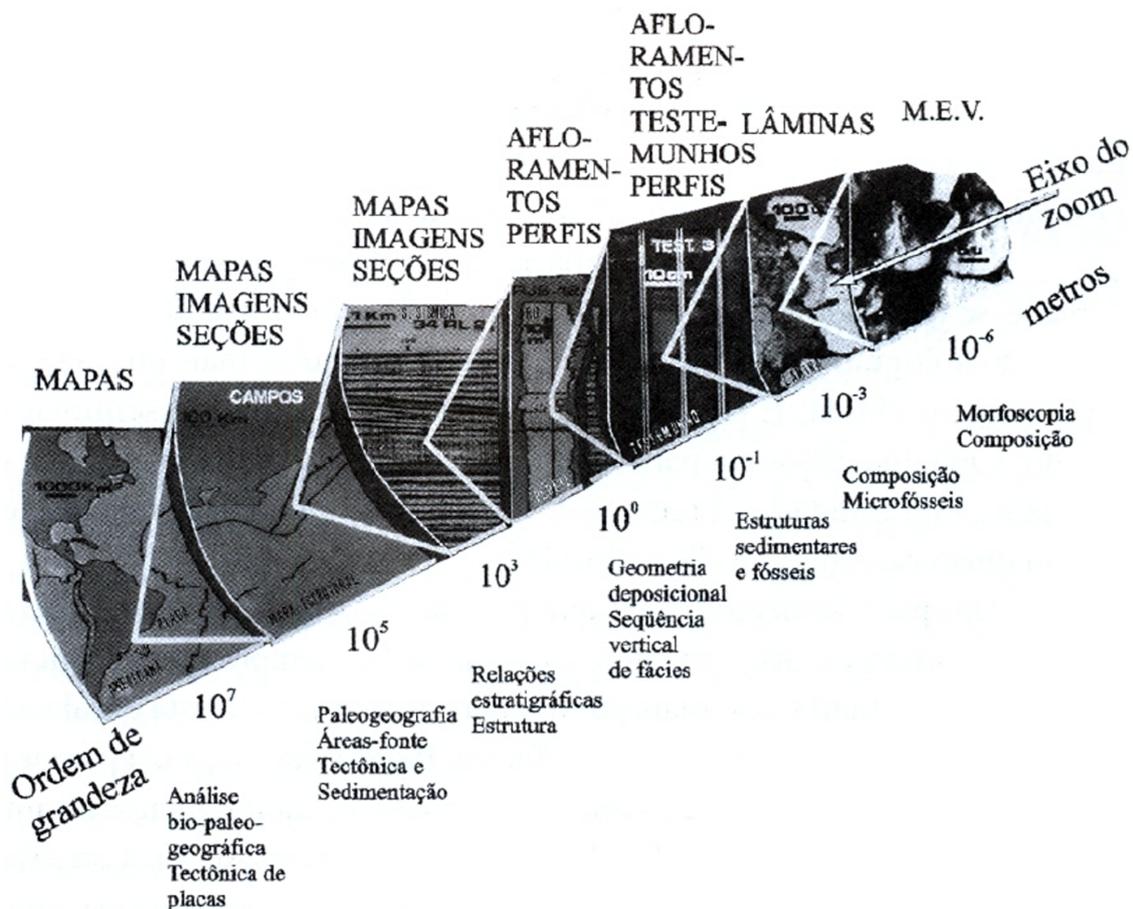


Figura 6.9: Esquema que sistematiza as diversas escalas de análise dos fenômenos na Estratigrafia Sedimentar, adaptado de (FÁVERA, 2001)

em que ocorreram. Assim, uma conclusão estabelecida pelo processo de interpretação geológica pode ser compreendida como, no máximo, a melhor hipótese disponível para explicar o registro observado (DOTT, 1998; FRODEMAN, 1995; BAKER, 1999; PARAIZO, 2004).

Apesar da Estratigrafia Sedimentar incorporar diversas características de uma ciência empírica, ela difere das demais ciências empíricas, na medida em que seus fenômenos não submetem-se a uma experiência sensível completa ou mesmo direta, em alguns casos (PARAIZO, 2004). Além disso, devido às diversas escalas espaço-temporais dos fenômenos, da complexidade dos objetos, das características históricas e do caráter esparso dos registros, a descrição dos fenômenos através apenas de conceitos e teorias não se mostra capaz de abarcar a riqueza das particularidades das ocorrências únicas dos fenômenos estudados. Neste sentido, uma abordagem puramente fundada em conceitos não é capaz de fundamentar a construção do conhecimento na Geologia. Assume-se então que a elaboração do conhecimento geológico é o resultado de um diálogo constante entre a razão e a experiência (BAKER, 1999).

Em (BAKER, 1999; FÁVERA, 2001) é dito também que a Geologia constitui uma Ciência holística, que utiliza mais o raciocínio sintético que o analítico. Neste sentido, o raciocínio analítico busca decompor objetos complexos em objetos simples e realizar medições precisas dos componentes, para só então compreender a totalidade; enquanto o raciocínio sintético prevê a realização de uma sequência de passos mentais que agrupam

componentes em um sistema coerente e consistente. Já (DOTT, 1998) define a Geologia como uma Ciência sintética, que se distingue das Ciências analíticas, no sentido de que as primeiras são baseadas em dados descritivos qualitativos e na manipulação destes dados através de argumentos verbais ou diagramáticos, incorporando imprecisões (incertezas, contradições, vagueza, etc); enquanto as últimas, por outro lado, são fundamentadas na análise de dados quantitativos e são capazes de gerar hipóteses preditivas testáveis.

Neste contexto, segundo (FRODEMAN, 1995), a atividade de interpretação assume uma importância fundamental na Geologia, pois ela cumpre o papel de preencher o espaço entre o conteúdo conceitual das teorias geológicas e os registros empíricos oferecidos pela natureza e observados pelos geólogos. A atividade de interpretação, neste sentido, constitui a ferramenta básica do processo de construção sistemática do conhecimento geológico. Nesta atividade, o geólogo aborda o objeto de estudo através de sucessivas tentativas de encontrar um ajustamento entre um conjunto de conceitos básicos oferecidos pelo corpo teórico da Geologia (que representa um posicionamento inicial que é tomado pelo cientista) e a própria experiência sensível oferecida pelos registros observados pelo geólogo. Assim a Geologia como um todo (incluindo a Estratigrafia Sedimentar) pode ser compreendida como uma Ciência interpretativa, na qual o sujeito (o geólogo) assume um papel importante na delimitação (identificação, caracterização, etc) do objeto de interesse.

Buscando preencher a lacuna que existe na literatura em termos de caracterização do processo de raciocínio geológico, Frodeman o delinea como um processo cíclico, no qual as partes componentes ganham significado em função da relação que elas estabelecem com a totalidade considerada, enquanto a concepção da totalidade é construída a partir da compreensão das partes componentes. Nesta perspectiva, analogamente, a compreensão de cada palavra desde texto, por exemplo, depende de todo o texto em que ela está inserida, enquanto a compreensão do presente texto se dá pelo entendimento de cada palavra que o compõem. Frodeman afirma que, segundo este esquema, na investigação estratigráfica, as fácies são compreendidas dentro do corpo de rochas que elas compõem, enquanto o significado do corpo de rochas depende da compreensão das diversas fácies em que ele é segmentado.

Frodeman ainda sustenta que a interpretação geológica depende de três elementos fundamentais: (a) um conjunto de preconcepções; que correspondem a suposições a priori, teorias e ideias sobre o objeto que permitem estabelecer um significado inicial da totalidade observada; (b) um conjunto de expectativas, que definem qual é o objetivo presumido e o propósito com que o objeto será abordado; e (c) um conjunto de habilidades tais como capacidade de observação, capacidade de imaginação de cenários prováveis e intuições. Neste sentido, este preenchimento da lacuna entre os conceitos e a experiência empírica, realizado pela interpretação, é fortemente influenciado pela experiência prática do geólogo no domínio, uma vez que a experiência variada no domínio aperfeiçoa os três aspectos (anteriormente citados) que fundamentam a interpretação.

## **7 O PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO**

Este trabalho tem como objetivo estabelecer um modelo do procedimento de raciocínio utilizado pelo especialista para realizar uma instância da tarefa de interpretação visual no domínio, bem como o de estabelecer um modelo das estruturas para representação de conhecimento inferencial utilizadas pelo especialista para realizar esta tarefa. Esta instância da tarefa de interpretação visual, que no domínio corresponde à interpretação do processo deposicional responsável pela geração da fácies sedimentar visualmente observada, recorre ao conhecimento capturado pela ontologia do domínio, cujo desenvolvimento teve início na etapa anterior do projeto Obaitá. Neste sentido, a aquisição de conhecimento neste trabalho foca-se primariamente na eliciação do processo de raciocínio utilizado pelo especialista para realizar a tarefa e na eliciação do conhecimento inferencial utilizado neste processo de raciocínio. Assim, os procedimentos utilizados são mais voltados para captura deste tipo de conhecimento do que para captura de conhecimento para a ontologia. No entanto, também foi previsto que a necessidade de resolver este problema no domínio poderia levantar a necessidade de conhecimento faltante na ontologia em desenvolvimento. Ou seja, as expectativas que nortearam o processo de aquisição de conhecimento levam em conta que possam ocorrer modificações da ontologia de domínio, como efeito das necessidades do processo de raciocínio aplicado pelo especialista. Assim, do ponto de vista de Engenharia de Ontologias, este trabalho incluiu etapas de revisão e refinamento de uma ontologia já existente, como consequências as necessidades relevadas pelo processo de raciocínio especialista.

### **7.1 Fases do processo de aquisição de conhecimento**

Dadas as características do objetivo deste trabalho, não foi seguida nenhuma metodologia para construção de ontologias, específica. Em vez disso, foram utilizadas as técnicas de aquisição de conhecimento disponíveis na literatura, adaptando-as para estas finalidades específicas, uma vez que não há uma metodologia consolidada para eliciação do processo de raciocínio (ABEL, 2001). Assim, o processo de aquisição de conhecimento realizado neste trabalho foi desenvolvido em diversas fases, em que foram aplicadas diferentes técnicas de aquisição de conhecimento específicas. Embora não se tenha seguido nenhuma metodologia específica, as fases de aquisição realizadas encontram correspondências com fases previstas em algumas das metodologias, tais como: Methontology (GÓMES-PÉREZ; FERNÁNDEZ-LÓPEZ; CORCHO, 2004), Onto-Knowledge (FENSEL et al., 2000) e CommonKADS (SCHREIBER et al., 1999). As fases são: planejamento, imersão na literatura, entrevistas não-estruturadas, entrevistas estruturadas, observação e limitação de informações. Algumas etapas se repetiram para retomar ou validar novas informações obtidas. Nas próximas seções deste capítulo serão

detalhadas cada uma das fases, em termos de objetivos e resultados alcançados. Ao fim do capítulo serão discutidos os resultados alcançados ao fim da realização do processo de aquisição de conhecimento como um todo.

### 7.1.1 Planejamento

Esta fase precede todo o processo de aquisição de conhecimento, embora também seja realizado durante o processo, à medida que ele avança. É nesta fase em que identifica-se as pessoas que participarão inicialmente do processo de aquisição, o material bibliográfico necessário, os demais recursos necessários para a realização deste processo, realiza-se o planejamento e agendamento das entrevistas e observações iniciais, etc.

- Pessoas envolvidas:
  - Geólogo estratígrafo sedimentar especialista, com mais de 10 anos de experiência, que desempenhou o papel de principal fonte do conhecimento eliciado.
  - Aluna do oitavo semestre do curso de graduação em Geologia com experiência em iniciação científica. Foi responsável pela organização do material bibliográfico utilizado para consulta. Realizou a busca de literatura do domínio necessária para alcançar certos objetivos específicos que surgiram ao longo do trabalho. Também realizou parte do trabalho de catalogação de tipos de processos deposicionais e suas características. Auxiliou também na tarefa de tradução de descrições de fácies sedimentares da literatura para descrições estruturadas de acordo com a ontologia de Estratigrafia Sedimentar em desenvolvimento. Estas descrições estruturadas foram utilizadas durante diversas fases do trabalho, como experimentos realizados junto ao especialista e experimentos de validação da abordagem.
  - Aluno do quinto semestre do curso de graduação em Geologia com experiência em iniciação científica. Auxilou principalmente na recomendação de material bibliográfico necessário para alcançar certos objetivos específicos que surgiram ao longo do processo. Também auxiliou na avaliação de descrições estratigráficas significativas na literatura do domínio, para a composição de casos de validação da abordagem.
  - Geólogo estratígrafo sedimentar especialista, com mais de 10 anos de experiência. Permitiu o acompanhamento de uma saída de campo de graduandos em Geologia, no escopo da disciplina de Estratigrafia Sedimentar. Permitiu o acompanhamento de aulas de disciplinas do curso de Geologia, relacionadas aos assuntos abordados neste trabalho. Forneceu concepções a respeito da Epistemologia da Geologia e das fundamentações do raciocínio geológico.
  - Geóloga estratígrafa sedimentar especialista, com mais de 10 anos de experiência. Permitiu o acompanhamento de aulas da disciplina de Ambientes de Sedimentação, ministradas no curso de Geologia.
- Material bibliográfico levantado:
  - Literatura introdutória do domínio. Este material corresponde a uma coleção de referências bibliográficas introdutórias do domínio da Estratigrafia Sedimentar. O papel destes referenciais é oferecer uma visão ampla do domínio: quais os objetos de estudo, captura do vocabulário da área, as definições dos principais conceitos, etc.

- Material bibliográfico fornecido/publicado pelo especialista em foco. Este material permite uma familiarização com o vocabulário do especialista que será entrevistado ao longo do desenvolvimento do projeto. Com esta familiarização evita-se a utilização de vocabulário leigo ou novato nas entrevistas, o que desencorajaria o engajamento do especialista no processo.
  - Literatura sobre aspectos epistemológicos do domínio. Este material aborda fundamentalmente os aspectos relacionados à construção do conhecimento no domínio, processos de raciocínio utilizados no domínio, etc. Esta bibliografia permitiu avaliar quais aspectos do problema são tratáveis do ponto de vista computacional, quais são fontes de controvérsia dentro do próprio domínio, quais as dificuldades associadas às inferências realizadas no domínio, etc.
  - Outros materiais de suporte para as entrevistas. Neste domínio foram utilizadas fotografias dos objetos de interesse disponíveis na bibliografia para suportar as entrevistas, uma vez que a tarefa de interesse possui um forte componente visual.
- Outros recursos necessários: nesta pesquisa foram utilizados como recursos para suporte/registro das entrevistas e observações um gravador de áudio, uma câmera fotográfica e uma filmadora.
  - Planejamento das entrevistas e observações: Inicialmente foram planejadas e agendadas uma entrevista não-estruturada, uma entrevista estruturada e uma observação. No entanto, ao longo do desenvolvimento do projeto foram necessárias novas iterações de entrevistas, observações e sessões de experimentos.

Nesta etapa também foi definido que este trabalho continuaria o desenvolvimento de uma ontologia do domínio, cujo desenvolvimento foi iniciado por (LORENZATTI, 2009), focando-se na tarefa de interpretação de processos deposicionais. Deste modo, considerou-se a possibilidade de que a ontologia de domínio já iniciada poderia passar por revisões e refinamentos.

### **7.1.2 Imersão na literatura**

Neste trabalho foi realizada uma imersão na literatura, através do estudo de referenciais da literatura previamente selecionados por bolsistas de iniciação científica do curso de graduação em Geologia que participaram do projeto. Esta literatura incluiu referenciais da área utilizados no curso de graduação em Geologia, bem como artigos do próprio especialista que seria abordado nas etapas posteriores.

Esta etapa possibilitou realizar uma primeira aproximação do domínio e permitiu a familiarização de engenheiro de conhecimento com as tarefas, práticas e, principalmente, com o vocabulário do domínio. Desta forma, foi possível elaborar uma visão geral do domínio da Estratigrafia Sedimentar e seus objetos de estudo, compreendendo assim, os objetivos gerais do domínio. Nesta fase foi possível também compreender superficialmente a tarefa de interpretação de processos deposicionais, que seria o foco do trabalho. Além disso, foi possível adquirir o vocabulário básico que permitiria interagir com o especialista, sem frustrá-lo pelo uso de um vocabulário leigo. Este vocabulário inclui termos como: fácies sedimentar, processo deposicional, processo trativo, estrutura sedimentar, camada, estratificação cruzada, etc.

### 7.1.3 Entrevistas não estruturadas

Neste trabalho foi realizada uma sessão de entrevista não estruturada, em que entrevistou-se o especialista do qual o conhecimento seria eliciado ao longo do projeto. Nesta sessão, que foi realizada no início do processo de aquisição de conhecimento, buscou-se conversar com o especialista para estabelecer os objetivos do trabalho e absorver noções gerais do domínio. Além disso, nesta etapa foi possível determinar a estrutura geral do domínio, os principais conceitos, e levantar as questões que foram abordadas de forma mais profunda nas etapas posteriores. O especialista foi abordado nesta fase com questões do tipo “Do que trata a Estratigrafia Sedimentar?”, “Como são interpretados os processos deposicionais?”, “Quais os tipos de Processos Depositionais?”, “Que tipo de informação é utilizada na interpretação de processos deposicionais?”, etc. Esta entrevista teve uma duração aproximada de uma hora. O processo como um todo, considerando a realização da entrevista e a transcrição, durou cerca de 5 horas, de modo que a fase de transcrição utilizou cerca de 80% deste tempo. O conhecimento levantado nesta fase inclui:

- Determinação da unidade descritiva da Estratigrafia Sedimentar, como sendo a fácies sedimentar. É a fácies sedimentar que o geólogo descreve e é a partir dela que são realizadas inferências em diversos níveis. Neste sentido, o conhecimento descritivo, que é um dos focos deste trabalho, restringe-se ao conhecimento necessário para descrever fácies sedimentares e seus principais componentes, as estruturas sedimentares. Este foco na fácies sedimentar, como a unidade descritiva fundamental de todo o processo de interpretação geológica, sugere a importância da captura qualificada destas informações descritivas.
- Sequência de passos realizada pelos especialistas do domínio para interpretar ambientes deposicionais e a contextualização do presente trabalho neste processo. A partir da descrição da fácies, pode-se interpretar o seu processo deposicional gerador e a partir dos processos deposicionais, interpreta-se os ambientes deposicionais.
- A constatação de que não há no domínio uma noção clara de quantos tipos de processos deposicionais existem. Não existe um referencial no domínio que tenha sistematizado todos estes processos. Esta constatação indicou que seria necessário realizar um levantamento destes tipos de processos e sistematizá-los, sugerindo inclusive que esta tarefa seria difícil.
- Obtenção de alguns termos referentes a tipos de processos deposicionais, tais como “migração de formas de leito planas”, “migração de dunas 2D”, “migração de dunas 3D”, etc.
- Identificação preliminar de características visuais da fácies que são importantes para guiar a interpretação de processos deposicionais. Estas características incluem: litologia; atributos texturais, tais como a granulometria e a seleção; e atributos das estruturas sedimentares, tais como angularidade, forma da lâmina, etc.

Foi também realizada uma sessão de entrevista não estruturada, em que foi entrevistado um especialista em aspectos epistemológicos do domínio. O principal objetivo desta entrevista foi esclarecer algumas particularidades do conhecimento do domínio, bem como esclarecer o processo de interpretação de processos deposicionais e da

possível estrutura do raciocínio utilizado para realizar esta tarefa. Esta sessão permitiu identificar, entre outras coisas, alguns aspectos problemáticos do domínio, do ponto de vista de tratabilidade computacional; bem como pontos de controvérsias dentro do próprio domínio. Esta entrevista foi norteada por perguntas gerais, que resultaram em amplas discussões realizadas pelo especialista entrevistado. Algumas das perguntas realizadas foram, por exemplo: “Como um geólogo raciocina (quando faz uma interpretação)?”, “Como a literatura aborda o raciocínio geológico?”, “Os geólogos partem dos dados ou de hipóteses para descrever os corpos de rocha e interpretá-los?”, etc. Esta entrevista durou uma hora e vinte minutos. O processo como um todo, considerando a entrevista e a transcrição, durou cerca de seis horas. Alguns resultados alcançados especificamente nesta etapa foram:

- Constatação de particularidades nas metodologias e processos de raciocínio utilizados na Geologia. Há um forte sentimento na comunidade de que as metodologias e os processos de raciocínio da Geologia são distintos daqueles aplicados por outras ciências, como a Física e a Química. No entanto, a comunidade ainda não conseguiu determinar com exatidão quais são as peculiaridades do seu objeto de estudo que são responsáveis por esta diferença na abordagem. O especialista aponta que algumas diferenças se devem ao fato de que a percepção do objeto na Geologia é sempre parcial, tanto no espaço quanto no tempo, e que os métodos científicos aplicáveis para meios transparentes não podem ser aplicados na Geologia. Ilustra-se esta diferença citando os métodos de Bacon e Galileu, que pressupõem que o cientista consegue ver seus objetos diretamente, ou com a ajuda de extensões dos sentidos, como o telescópio de Galileu. Na Geologia, os meios não são transparentes e a maior parte das observações são indiretas e sujeitas a contingências, uma vez que são observações baseadas em diversas inferências encadeadas, e que incorporam suas próprias teorias observacionais (como a teoria por trás dos registros sísmicos, que permitem observar a subsuperfície). Aliado a este fato, é preciso também considerar que o acesso a certos pontos da Terra, não é possível nem mesmo com sondas, devido aos problemas da pressão e da temperatura em certas profundidades do planeta. Esta é uma limitação de acesso espacial. No entanto, há também limitações de acesso temporal, no sentido de que o cientista não consegue levar os sentidos para o passado, que é justamente um dos aspectos que o geólogo tenta reconstruir. O que resta do passado no presente, são apenas registros esparsos.
- Uma outra questão importante que foi evidenciada, é que o geólogo aproxima-se do seu objeto de estudo através de sondagens e que estas sondagens devem ser criteriosas e cuidadosas, uma vez que sondagens costumam destruir registros de um modo irreversível. A perfuração geológica para realizar sondagens danifica e altera o seu próprio objeto de estudo. Neste sentido, além da evidente perda de uma pista que poderia ser determinante para a reconstrução do passado, há o problema de se isolar as próprias influências da sondagem no objeto de análise.
- Há uma dificuldade de se isolar princípios gerais na Geologia, da mesma forma que ciências como a Física e a Química são capazes de fazer. Na Física, por exemplo, há um certo consenso de que pode-se delimitar princípios gerais que resistem às contingências. Já na Geologia, precisa-se lidar justamente com o que é contingente e particular.

- Os geólogos partem de hipóteses, concepções e modelos, até mesmo para coletar dados empíricos. Assim, não há observação que não seja guiada por uma concepção prévia.
- Foi revelado também o problema de que, devido à inacessibilidade da percepção, que implica em observações indiretas, há uma tendência de se realizar interpretações baseadas em análogos familiares, já conhecidos pelo geólogo. Ou seja, tende-se a conceber o local inacessível (no tempo ou no espaço) como se ele fosse igual ou semelhante ao presente (com as mesmas leis físicas, mesmos tipos de solos, etc). Esta expectativa pode conduzir a erros viciosos. Apegar-se ao análogo leva a um vício inescapável onde torna-se impossível conhecer aquilo para que não há análogos, comprometendo a própria descoberta de novo conhecimento sobre o objeto de estudo.

#### 7.1.4 Entrevistas estruturadas

Neste trabalho foram realizadas 9 sessões de entrevistas estruturadas com o especialista, com duração média de 30 minutos, totalizando cerca de 4 horas e meia de entrevistas. Estas entrevistas tiveram como objetivo aprofundar os pontos levantados durante a entrevista não-estruturada. Nestas entrevistas foram realizadas perguntas como “O que é um processo deposicional?”, “Quais são as características visuais importantes para interpretar o processo deposicional?”, “Quais são os tipos de processo deposicional?”, “Como um processo deposicional é interpretado?”, etc. Além destas perguntas, nestas sessões também foram refinadas as taxonomias de estruturas sedimentares deposicionais e de processos deposicionais. A partir da taxonomia de processos deposicionais, foram eliciados também conjuntos de características utilizadas pelo especialista para suportar a interpretação. Estas sessões foram importantes para a eliciação da taxonomias de processos deposicionais e de estruturas deposicionais; para a eliciação de atributos da fácies sedimentar, das estruturas deposicionais e dos processos deposicionais; e para a eliciação do conhecimento inferencial. Os resultados alcançados nesta fase incluem:

- Um conjunto de categorias de processos deposicionais (macrocategorias), que constituiriam os níveis taxonômicos próximos à raiz. Na primeira entrevista foram evidenciadas as seguintes categorias: Fluxos trativos subaquáticos, fluxos trativos eólicos, fluxo oscilatório, fluxo gravitacional de sedimentos, fluxo gravitacional de massa. Em etapas posteriores, estas categorias foram reagrupadas em categorias ainda mais abstratas e foram enumerados os tipos específicos dos processos, que constituiriam as folhas da taxonomia, tais como: migração de anti-dunas, migração de formas de leito planas, migração de dunas linguóides, migração de dunas 3D, migração de dunas 2D, migração de ripples, migração de barras longitudinais, migração de barras transversais, etc.
- Constatação de que o especialista consegue oferecer interpretações a partir de informação faltante. Ou seja, mesmo quando a fácies não está completamente descrita, é possível determinar interpretações mais gerais. Isto indica que o modelo computacional de interpretação deve ser robusto.
- Constatação de que os especialistas assumem que interpretação de processos deposicionais é realizada de forma direta, no sentido de que a partir da observação da fácies o especialista é capaz de alcançar uma interpretação; e independente, no

sentido de que a interpretação é de cada fácies é realizada unicamente a partir da informação visual dela, sem considerar fácies adjacentes ou outras informações adicionais.

- Constatação de que a estrutura sedimentar é imprescindível para o processo de interpretação. No caso da estrutura sedimentar não ser descrita, a interpretação pode ser completamente inviabilizada. No entanto, constatou-se também que a estrutura sedimentar não é determinante no processo, mesmo que imprescindível, uma vez que fácies com uma mesma estrutura podem ter sido formadas por processos diferentes. As estruturas registram a forma de leito depositada por um dado processo. Ocorre que uma mesma forma de leito pode ter sido depositada em nível subaquático, pela ação da água, ou em nível subaéreo, pela ação do vento. Nestes casos, os atributos texturais (como granulometria e gradação) auxiliam na desambiguação da interpretação.
- Uma tentativa de sistematização geral dos processos deposicionais foi desencorajada, depois de uma reflexão com os especialistas da área. Os especialistas constataram que esta tarefa seria mais complicada e demandaria mais tempo do que estimava-se à primeira vista, uma vez que não há uma sistematização pronta desta taxonomia no domínio que seja concensual e também devido à abundância de nomenclatura desses processos, que não está normatizada. Com isso, concluímos que neste primeiro passo, o trabalho seria focado em sistematizar apenas um subconjunto de processos deposicionais, chamados Correntes Trativas subaquosas.
- Conjuntos de características visuais utilizadas para interpretar alguns dos processos deposicionais considerados na taxonomia eliciada.

### **7.1.5 Técnicas de observação**

Neste trabalho foram realizadas diversas sessões de observação, que incluíram:

- Observação de sessões de resolução do problema de interesse. Nestas sessões, foram observados três especialistas distintos, interpretando processos deposicionais a partir da observação de testemunhos de sondagem distintos. Foi possível capturar feições visuais consideradas importantes pelo especialista para suportar a interpretação, a partir da explicação que ele utilizou para justificar a interpretação oferecida a partir das feições observadas. Entre estas feições destacam-se a litologia e a Estrutura Sedimentar. Cada uma dessas sessões durou cerca de meia hora.
- Observação de uma sessão em que diversos estratígrafos participavam da descrição e interpretação de um mesmo testemunho. Nesta sessão foi possível verificar que, em certos momentos, depois de descrever algumas fácies, os especialistas alteravam a descrição de fácies já descritas anteriormente. Este comportamento sugeriu que a atividade de descrição pode envolver um componente interpretativo e que os especialistas voltavam a analisar fácies já descritas anteriormente e, eventualmente, alteravam a sua descrição. Aparentemente, neste processo de descrição os especialistas buscam estabelecer a correspondência entre o objeto que está sendo analisado e algum modelo previamente conhecido.
- Saída de campo com uma turma da disciplina de Estratigrafia Sedimentar, de um curso de graduação em Geologia. Nesta ocasião, observou-se o professor,

também especialista na área, conduzindo os alunos no processo de análise de um afloramento *in loco*. Assim, foi possível observar como ocorre o processo de segmentação do afloramento em fácies sedimentares significativas, descrição das fácies e interpretação dos processos deposicionais e ambientes sedimentares responsáveis pela formação rochosa observada. Nesta sessão constatou-se a necessidade que o geólogo tem de contextualizar seu objeto de investigação, através de aproximações sucessivas. Foi possível observar que o geólogo muitas vezes utiliza ferramentas (como o martelo) para sondar o afloramento, quebrando a camada mais externa do mesmo para revelar camadas internas que não ficam expostas no registro. Constatou-se também que é importante que esta sondagem seja parcimoniosa e meticulosa, uma vez que toda sondagem destrói de um modo irreversível parte dos registros do passado, de modo que esta exploração do objeto é totalmente guiada por concepções prévias (pressupostos, hipóteses, etc) que dirigem o processo para minimizar os danos aos registros. Desta forma, apenas as sondagens estritamente necessárias para comprovar ou refutar hipóteses são realizadas. Esta sessão de observação durou um dia inteiro, em campo.

- Observação das aulas da disciplina de Estratigrafia Sedimentar, do curso de graduação em Geologia, ao longo de um semestre. A observação das aulas permitiu desenvolver uma noção mais profunda do domínio, e de como o domínio é apresentado para os geólogos em formação. Nesta sessão constatou-se que os geólogos são expostos a um volume bastante grande de imagens que exemplificam feições visuais de interesse no domínio (características visuais impressas na rocha), geralmente associadas ao processo e ambiente responsáveis pela formação destas feições (a interpretação correspondente às feições visuais apresentadas). Eventualmente, a gênese de conjuntos de feições visuais apresentadas era explicada através de uma narrativa em que eventos ambientais se sucedem. Este processo parece viabilizar a internalização de um repertório de padrões visuais que serão determinantes para a realização do trabalho de campo.
- Observação das aulas da disciplina de Epistemologia da Geologia do curso de graduação em Geologia, ao longo de um semestre. A observação destas aulas permitiu identificar e sistematizar algumas das características do conhecimento em Geologia e de aspectos que são considerados polêmicos no próprio domínio. Estas observações auxiliaram a distinguir questões em aberto no próprio domínio, de questões problemáticas do ponto de vista de modelagem computacional.

### 7.1.6 Limitação de informações

Neste trabalho, foi utilizada uma variação adaptada da técnica de limitações de informações para eliciação de conhecimento visual e refinamento de ontologias. A seguir será apresentada a concepção da abordagem, bem como a discussão da sua aplicação no domínio de interesse.

#### 7.1.6.1 Abordagem para aquisição de conhecimento visual e refinamento de ontologias para domínios imagísticos

Quando o especialista observa diretamente uma fácies *in loco*, ele tem à disposição todo o conhecimento visual que potencialmente pode ser obtido a respeito da fácies. Isto permite que ele construa o modelo mental da fácies da forma mais adequada possível para realizar a interpretação do seu respectivo processo deposicional formador. Este

constitui o modo convencional utilizado pelo especialista para resolução do problema de interpretação de processos deposicionais geradores a partir da inspeção visual das fácies geradas (representado na Figura 7.1).

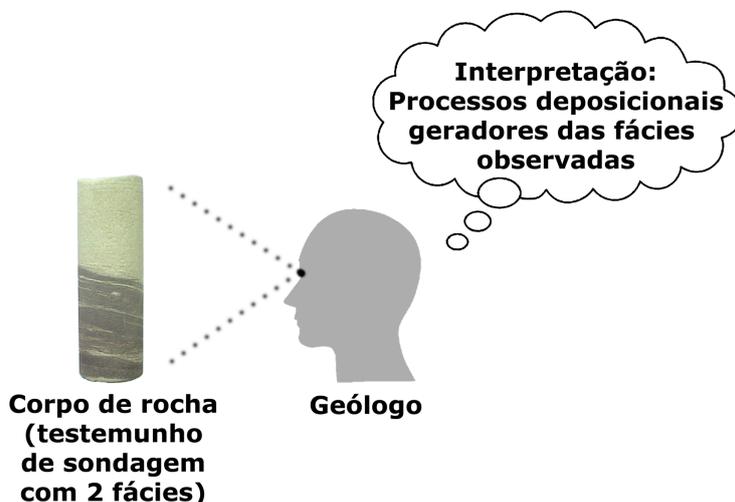


Figura 7.1: Processo convencional de interpretação visual de processos deposicionais a partir da observação visual de fácies

Por outro lado, quando delegamos a tarefa de interpretação para um procedimento computacional, os únicos recursos de que o procedimento dispõe são as descrições simbólicas das feições visuais das fácies oferecidas pelo geólogo.

O processo de raciocínio utilizado pelo especialista é suportado por uma conceitualização específica do domínio. Neste sentido, consideramos que uma ontologia de domínio que ofereça suporte para a automatização computacional deste processo de interpretação deve necessariamente capturar esta conceitualização. Com isto em mente, concebemos uma *abordagem para aquisição de conhecimento visual e refinamento de ontologias de domínio guiada por resolução de problemas em contextos de informações limitadas*. O objetivo fundamental desta abordagem é submeter o especialista às mesmas limitações impostas à máquina, durante o seu processo de resolução de problemas. Assim, o especialista não tem acesso à totalidade de informações visuais disponíveis através da observação direta das fácies *in loco*, de modo que ele deve tentar realizar interpretações de processos deposicionais geradores, unicamente a partir das descrições simbólicas das fácies sedimentares, realizadas em função dos conceitos, relações, propriedades e valores previstos pela ontologia de domínio em desenvolvimento.

As descrições simbólicas oferecidas ao especialista nesta fase constituem o resultado de um processo de tradução de *descrições não estruturadas*, oferecidas pela literatura, em *descrições estruturadas* de acordo com os termos definidos pela ontologia de domínio em desenvolvimento. Além disso, ignorou-se toda a informação das *descrições não estruturadas* que não se adequasse à ontologia de domínio.

Nossa hipótese, neste trabalho, é a de que este procedimento permitiria avaliar dois aspectos:

- Verificar se, analisando descrições puramente simbólicas das fácies sedimentares, o especialista é capaz de chegar às mesmas conclusões alcançadas pelo geólogo que originalmente descreveu e interpretou a fácies, e que tinha à disposição a

possibilidade de observar a fácies real *in loco*. Este resultado permitiria avaliar a viabilidade da reprodução computacional do comportamento de resolução do problema de interpretação visual realizado pelo especialista, unicamente através da manipulação de símbolos que abstraem as características visuais que o especialista observaria diretamente em situações convencionais.

- Avaliar quais informações visuais são fundamentais para a realização do processo de interpretação e verificar se a ontologia de domínio em desenvolvimento é capaz descrever esta informação.

Aplicando o procedimento, uma vez que o especialista tenha interpretado as *descrições estruturadas*, duas situações podem ocorrer: (a) a interpretação que o especialista realizou a partir de uma *descrição estruturada*, corresponde à interpretação associada à *descrição não estruturada* original; (b) a correspondência entre as interpretações não se verifica. Em caso de (a) ocorrer, podemos assumir que a interpretação pode ser realizada apenas sobre símbolos e também que, para o caso em questão, a ontologia mostrou-se suficiente para descrever as características essenciais que suportam a interpretação. Em caso de (b) ocorrer, requisitou-se que o especialista analisasse as *descrições não estruturadas*, e verificasse se, considerando as informações adicionais (que foram ignoradas, porque não podiam ser descritas com a ontologia em desenvolvimento), seria possível chegar à interpretação oferecida pela literatura. Neste ponto, duas situações podem ocorrer:

- O especialista discorda da interpretação oferecida pela literatura, mesmo tendo acesso a toda informação oferecida nas *descrições não estruturadas*. Isto pode indicar que as descrições da literatura não são ricas o suficiente para suportar a interpretação alegada. Ou seja, o geólogo responsável pela descrição pode ter identificado as feições necessárias para suportar a interpretação alegada, mas ignorado a descrição dessas feições. Outros fatores desconhecidos podem atuar para a configuração deste resultado. Resultados deste tipo serão ignorados, pois transcendem os propósitos assumidos na aplicação deste procedimento.
- O especialista concorda com a interpretação oferecida pela literatura, depois de ter acesso a toda informação oferecida nas *descrições não estruturadas*. Neste caso, a falta de informação relevante na descrição traduzida pode ter se perdido por dois motivos possíveis: (a) o processo de tradução foi mal conduzido e/ou (b) a ontologia de domínio utilizada para traduzir as descrições, não é rica o suficiente para expressar algumas das informações não estruturas oferecidas pela literatura e que são essenciais para a realização da tarefa. Quando (b) ocorre, é possível identificar conhecimento faltante na ontologia de domínio em desenvolvimento. Uma vez revelado este conhecimento, ele pode ser incorporado à ontologia de domínio, em um passo de refinamento.

Este processo, que pode ser compreendido como uma técnica da família das técnicas de tarefas com limitação de informação ou com restrições de processamento, é ilustrado resumidamente na Figura 7.2, ressaltando os objetivos do procedimento.

#### 7.1.6.2 Exemplo de aplicação no domínio

Esta abordagem foi aplicada durante a aquisição de conhecimento em duas sessões distintas. Na primeira sessão, foi possível constatar a falta de atributos importantes

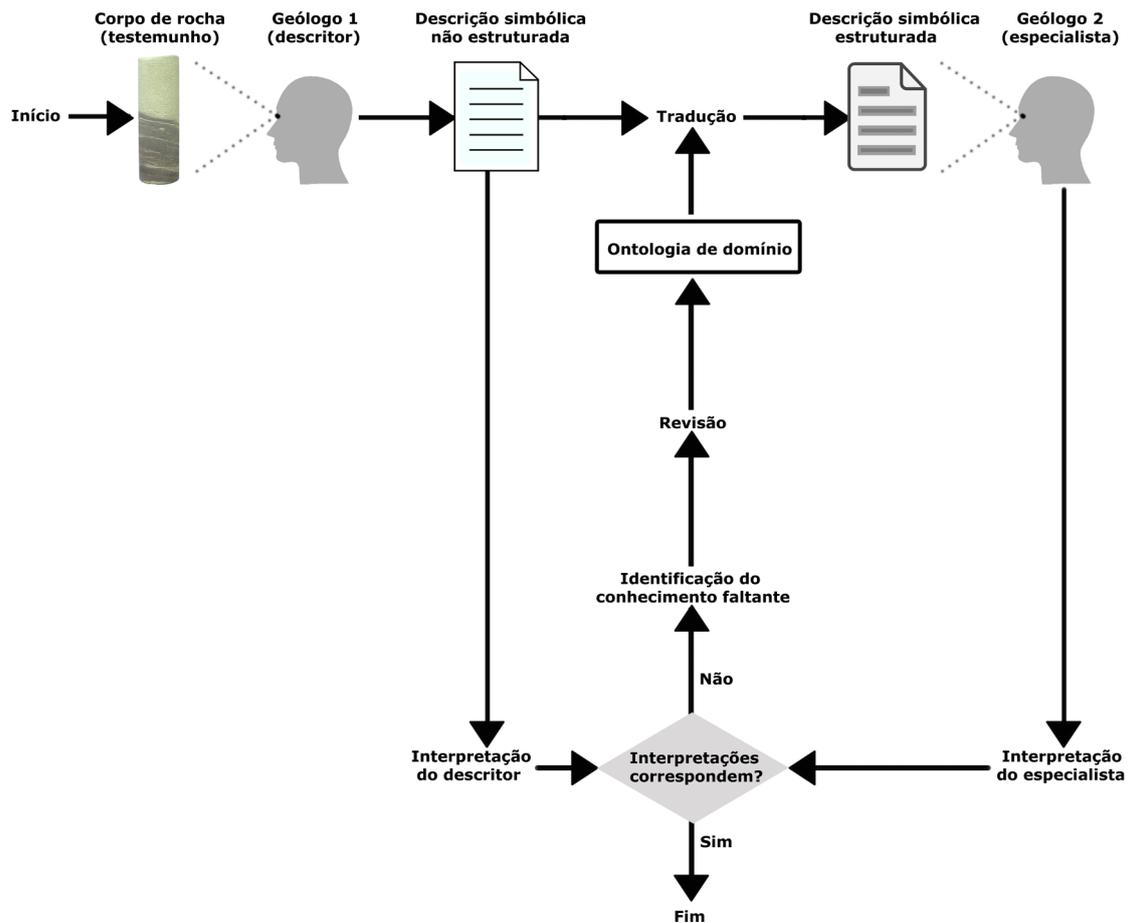


Figura 7.2: Processo de revisão da ontologia de domínio guiado por resolução de problemas em contextos de informação limitada.

na ontologia de domínio em desenvolvimento, enquanto a segunda e última sessão de aplicação sugeriu a viabilidade de reprodução computacional do raciocínio especialista utilizado neste domínio. A seguir, será apresentada a primeira sessão da aplicação desta abordagem, bem como os resultados alcançados. A segunda e última sessão de aplicação é apresentada no Apêndice A.

Para a primeira sessão de aplicação desta abordagem, primeiramente foram selecionadas descrições de fácies disponíveis na literatura. Esta seleção priorizou descrições que apresentavam terminologia ainda não familiar, isto é, que não se ajustava à terminologia prevista pela ontologia em desenvolvimento. Um exemplo de descrição selecionada da literatura é apresentado na Tabela 7.1, tal como ela está publicada, sem seguir qualquer estruturação em função de uma ontologia. Em um segundo passo, esta descrição foi traduzida para uma versão estruturada, usando os termos previstos pela ontologia em desenvolvimento, com o auxílio de dois geólogos em formação que conheciam a ontologia. Na Tabela 7.2 apresenta-se a versão estruturada. Neste estágio do desenvolvimento da ontologia de domínio, a versão traduzida contemplava apenas as informações que poderiam ser descritas com o atributo “Moda” e a “Estrutura Sedimentar”, as demais informações da descrição foram consideradas “Observações adicionais”, uma vez que não puderam ser descritas pela ontologia. Além destas informações, a Tabela 7.2 também apresenta a interpretação oferecida pela literatura, na coluna “Interpretação referencial”, enquanto na coluna “Interpretação do especialista” é

apresentada a interpretação oferecida pelo especialista, sem ter acesso às informações descritas na coluna “Observações adicionais”. Observando as tabela, é possível constatar que a interpretação do especialista se aproximou da interpretação oferecida pelo referencial. De qualquer forma, à primeira vista as duas interpretações não foram consideradas totalmente correspondentes. Consultado sobre a equivalência de ambas as interpretações, após revelar as informações rotuladas como “Observações adicionais”, o especialista confirmou que essas informações eram relevantes para suportar a interpretação do referencial. Dentre essas informações, a informação “Cascalho sustentado pelos clastos” revelou o atributo “Suporte de fábrica”, do qual “Suportado por clastos” seria um valor; enquanto a informação “clastos comumente imbricados” revelou o atributo “Orientação de Fábrica”, do qual “Imbricado” é um dos valores. Uma vez revelados os atributos, o especialista listou outros valores possíveis para ambos.

<b>Descrição</b>	<b>Interpretação</b>
Cascalhos sustentados pelos clastos, com estratificação horizontal pouco definida e clastos comumente imbricados	Barras longitudinais; depósitos residuais

Tabela 7.1: Exemplo de descrição de fácies encontrada na literatura. Descrição não estruturada

<b>Moda</b>	<b>Estrutura Sedimentar</b>	<b>Observações adicionais</b>	<b>Interpretação referencial</b>	<b>Interpretação do especialista</b>
Cascalho	Estratificação horizontal	Cascalho sustentado pelos clastos, clastos comumente imbricados, estratificação horizontal pouco definida	Barras longitudinais	Corrente trativa movendo cascalho, provavelmente barras longitudinais

Tabela 7.2: Exemplo de descrição de fácies submetida ao especialista. Estruturada de acordo com a ontologia em desenvolvimento

## 7.2 Apresentação geral dos resultados obtidos

A aquisição de conhecimento focou-se na análise e modelagem da ontologia e nos métodos de resolução de problemas do domínio. Cada etapa do processo correspondeu a uma sessão de aquisição de conhecimento com o especialista, intercalada com um processo de racionalização das informações levantadas nesta abordagem. Em cada uma dessas abordagens foi possível levantar informações que levantaram novas demandas e expectativas para as próximas etapas que deveriam ser realizadas. Este processo foi realizado de modo incremental, e permitiu uma aproximação gradativa entre o Engenheiro de conhecimento e o especialista, possibilitando a proposta, a avaliação e a eventual revisão dos diversos modelos elaborados durante o trabalho. A seguir, são sumarizados

os principais resultados alcançados durante este processo. É importante perceber que os produtos gerados não foram resultantes de uma etapa específica da aquisição de conhecimento, mas sim de aproximações, avaliações e revisões constantes, ocorridas ao longo de todo o processo.

### **7.2.1 Características do domínio**

As constantes aproximações ao domínio permitiram levantar um conjunto de características do domínio e da tarefa de resolução de problemas no domínio. O reconhecimento destas características foi importante para guiar as abordagens ao especialista e formam fundamentais para elaborar as propostas deste trabalho.

#### *7.2.1.1 Características epistemológicas da Geologia*

A partir da imersão na literatura do domínio, e das abordagens ao especialista, tanto em entrevistas quanto na observação do seu comportamento de resolução de problemas, sentiu-se a necessidade de realizar uma imersão em referenciais que abordassem os aspectos epistemológicos da Geologia, com o objetivo de se compreender as particularidades do processo de construção deste conhecimento do domínio. A compreensão destes aspectos permitiu situar melhor o problema abordado, bem como a própria abordagem aqui proposta para resolvê-lo, uma vez que permitiu distinguir dificuldades inerentes ao domínio de possíveis limitações da abordagem proposta. Além disso, este conhecimento levantado foi fundamental para compreender a atividade de interpretação geológica. O conhecimento levantado nesta imersão foi apresentado em detalhes na seção 6.2 e será sumarizado a seguir:

- O domínio apresenta traços de uma ciência natural, uma vez que busca descrever e propor modelos explicativos e preditivos de fenômenos naturais.
- O domínio apresenta traços de uma ciência histórica, uma vez que entende as rochas contemporâneas como registros de processos ocorridos no passado remoto e tenta explicar as formações recentes, reconstruindo a possível sucessão de processos ocorridos em uma narrativa histórica coerente. Desta forma, o raciocínio geral empregado na Geologia apresenta diversas características de um raciocínio abduutivo (BAKER, 1999).
- Os objetos de interesse da Estratigrafia Sedimentar ocorrem em diversas escalas espaciais e temporais. Há uma influência da ocorrência de processos inter-escalas, que estabelece uma dificuldade inerente em compreender como ocorrem estas influências.
- Os processos geológicos, de interesse para a Estratigrafia Sedimentar, ocorrem de forma aberta, se inter-influenciando simultaneamente, de modo que há uma dificuldade inerente em se delimitar as investigações, considerando-se grandes redes causais.
- A construção da narrativa histórica coerente que explica os registros constitui uma tarefa difícil, considerando a sobreposição de indícios de processos de várias escalas espaciais e temporais distintas em um mesmo registro.
- As leis e modelos gerais não esgotam o particular, de modo que a particularidade ganha importância na Geologia.

- Os objetos de interesse da Estratigrafia estão geralmente ocultos, de forma parcial ou total. A totalidade do objeto pode estar oculta porque ele pertence ao passado inacessível, porque ele está espacialmente inacessível em sua totalidade (na subsuperfície, por exemplo) ou porque ele é um processo que ainda está ocorrendo no presente e que o geólogo não pode observar do início ao fim, em termos temporais, ou em sua totalidade, em termos espaciais.
- Uma conclusão estabelecida pelo processo de interpretação geológica pode ser compreendida como, no máximo, a melhor hipótese disponível para explicar o registro observado, em termos de processos ocorridos em um passado inacessível.

### 7.2.1.2 Importância da percepção visual

Durante a aquisição de conhecimento foi constatado que o domínio exige intensivamente as habilidades perceptuais visuais dos praticantes, confirmando as observações realizadas em (ABEL, 2001) em um domínio com características similares. Uma das atividades fundamentais do domínio, a descrição das fácies sedimentares, demanda o reconhecimento de complexos padrões visuais significativos no domínio, uma vez que a qualidade do reconhecimento das feições importantes determina a qualidade das interpretações finais.

A importância da percepção visual foi evidenciada pela observação do comportamento de resolução de problemas apresentado pelo especialista durante a interpretação de um conjunto de fácies sedimentares. Outras evidências da importância da percepção visual foram levantadas através da observação de aulas da disciplina de Estratigrafia Sedimentar, em um curso superior de Geologia. Durante estas aulas, que correspondem a um período inicial da formação dos geólogos, os alunos são expostos a uma grande quantidade de fotografias de objetos do domínio ( que correspondem a exemplos específicos de padrões visuais do domínio), associados aos significados correspondentes (interpretações). Este processo parece favorecer a associação direta entre o padrão visual observado e a interpretação significativa no domínio, sem considerar uma etapa intermediária de formalizar os diversos aspectos geométricos que compõem o padrão observado. Esta associação direta entre os estímulos característicos do domínio e interpretações abstratas pode explicar a dificuldade que os especialistas do domínio apresentam em verbalizar as características estritamente visuais (tais como os aspectos geométricos) dos objetos de domínio que suportam as interpretações, bem como a falta de um vocabulário capaz de representar formalmente estas características visuais na linguagem do domínio. Estas características visuais do domínio correspondem à porção tácita do conhecimento dos seus praticantes.

No trecho a seguir, retirado de (FÁVERA, 2001), é possível verificar os desafios que os praticantes do domínio enfrentam em relação à comunicação das feições visuais do domínio. Constata-se que certas características visuais do domínio só podem ser reconhecidas quando estas feições são apresentadas *in loco* ao sujeito, uma vez que existe uma dificuldade em comunicar verbalmente estas informações.

O tempestito constitui hoje uma das fácies mais comuns no registro estratigráfico, tanto que perdeu o interesse atual da comunidade geológica. Entretanto, passou despercebida desta comunidade até meados da última década — a não ser por uma exceção histórica do final do século passado. A falha constitui em não reconhecer nos depósitos a estratificação cruzada hummocky, característica desta fácies.

Minha experiência de ensino mostra que o reconhecimento da estrutura hummocky se dá, na maioria das vezes, após sua apresentação ao vivo aos neófitos: é preciso ver uma estrutura hummocky para se poder reconhecê-la no futuro. No meu caso pessoal, antes de a detectar na Bacia do Parnaíba, em 1979, foi-me apresentada duas vezes: uma por Emiliano Mutti, em 1977, na Espanha (ainda a considerava como truncated wave cross-bedding) e outra por Joanne Bourgeois, no Texas, em 1978, já como estrutura hummocky.

Por outro lado, é muito interessante repassar a descrição de seções com tempestitos e suas respectivas interpretações feitas antes da popularização desta fácies. Muitas vezes, a estrutura é descrita como mera estratificação cruzada; em outras, nem ao menos é reportada, como se não existisse ou fosse invisível aos olhos dos observadores. Parece ter havido uma barreira psicológica para a detecção de aspectos, mesmo muito conspícuos, que não se enquadram nos modelos conhecidos, da mesma forma que um programa específico num computador o impede de processar determinados dados (daí a diferença semântica entre observar e ver). Nestes casos, as descrições seguem a linha de pensamento do observador: se porventura visualiza-se um delta, certamente a percepção vai ser orientada para as feições que consubstanciam aquela interpretação, dentro do modelo mental do pesquisador; as outras são inconscientemente ignoradas

#### *7.2.1.3 Atividade de interpretação, sua importância e suas características*

Devido às características dos objetos de estudo de Geologia, a interpretação desempenha um papel fundamental em todas as atividades do domínio. A seguir, são destacadas as conclusões mais importantes acerca do processo de interpretação, obtidas ao longo do processo de aquisição de conhecimento:

- É através da interpretação que os especialistas estabelecem a conexão entre a experiência empírica sensível e as teorias do domínio. É através da interpretação também que os especialistas estabelecem narrativas históricas coerentes de sucessões de eventos que explicam os registros observados, assumindo restrições teóricas no processo.
- No caso específico da interpretação de processos deposicionais geradores, a observação do processo de resolução de problemas realizado pelo especialista permitiu constatar que o raciocínio utilizado é de difícil caracterização, uma vez que ele constitui o resultado da interação entre percepção e cognição de alto nível do especialista, de modo que a sua realização não oferece muitos indícios externos observáveis.
- Constatou-se que a interpretação de processos deposicionais é fundamentada em análogos, ou seja, em protótipos de fácies bem estabelecidos no domínio, cujas caracterizações são conhecidas e cujos processos deposicionais geradores são também conhecidos. A relação entre muitos destes análogos e seus respectivos processos deposicionais geradores é observada pelos geólogos em ambientes deposicionais contemporâneos, onde pode-se observar processos deposicionais ocorrendo e formando depósitos com fácies características; ou em laboratório, onde são reproduzidas fisicamente as características de certos processos deposicionais e

pode-se observar seus depósitos com fácies características. Esta relação entre os análogos e seus processos deposicionais é governada por leis físicas da dinâmica de fluídos. No entanto, o domínio não oferece um ferramental teórico quantitativo que estabeleça formalmente a relação entre as feições visuais resultantes em função das forças físicas atuantes no processo deposicional. Assim, a interpretação é guiada por um processo de reconhecimento de padrões visuais, de modo que a observação de uma fácies  $f_1$  similar a uma fácies análoga conhecida  $f_2$ , autoriza o geólogo a interpretar o processo deposicional  $pd_1$ , gerador da fácies observada, como um processo do mesmo tipo  $pd_2$  responsável pela geração do análogo. Esta interpretação inicial, geralmente imediata, pode ser explicada posteriormente por uma narrativa que considera outros elementos do contexto, que suportam uma certa sequência deposicional que seria responsável pela conformação das feições visuais observadas, ou mesmo ser reconsiderada, conforme são obtidas outras informações importantes.

- Além dos análogos relatados pela literatura, assumimos como premissa deste trabalho que durante os anos de realização de tarefas no domínio, o especialista elabora conhecimento particular, que pode ser não relatado pela literatura, e que pode ser um dos diferenciais responsáveis pelos elevados graus de perícia. Este conhecimento particular pode compreender variações e exceções relacionadas aos análogos relatados na literatura, por exemplo.
- Por ser guiada por um processo de reconhecimento de padrões visuais, os elevados graus de perícia alcançados nesta tarefa envolvem a memorização de um grande número de abstrações destes padrões visuais.

#### 7.2.1.4 *Características da terminologia do domínio*

A elaboração da organização do conhecimento em Estratigrafia Sedimentar é um empreendimento por si só complexo, uma vez que este domínio de estudo é notoriamente rico em características terminológicas que desafiam o trabalho do engenheiro de conhecimento. Como resultado da captura de terminologia de diversos referenciais do domínio e da comparação desta terminologia em entrevistas com outros especialistas do domínio, e com referenciais da literatura, foi possível constatar algumas características importantes. O reconhecimento destas, permitiu evitar possíveis armadilhas na elaboração da organização do conhecimento.

Algumas características terminológicas desafiadoras da área são decorrentes do fato da Geologia ter se desenvolvido paralelamente em diversas escolas distintas, com terminologias internas próprias. Atualmente, esta terminologia tem trafegado pela grande comunidade, gerando dois tipos de problemas principais. Um desses aspectos terminológicos desafiadores mais frequentemente encontrados no domínio surge do uso de um mesmo termo para representar dois ou mais conceitos distintos. Esta prática implica na manifestação de diversas ambiguidades e na falta de clareza na comunicação. Este aspecto desafia o trabalho do engenheiro de conhecimento, uma vez que pode induzi-lo a pensar que está sendo apresentado a um mesmo conceito do domínio, quando, na verdade, há diversos conceitos ocultos no uso de um mesmo termo. Na Estratigrafia Sedimentar, o termo “angularidade”, por exemplo, eventualmente é usado para designar o ângulo entre as lâminas de sedimento e a linha base de uma estrutura sedimentar, e, em outras situações, é usado para designar o ângulo de cavalgamento de uma estrutura sedimentar, enquanto o especialista concorda que são dois significados distintos.

Outra característica terminológica do domínio que desafia o engenheiro de conhecimento decorre do uso de termos diversos para representar um mesmo significado. Esta prática complexifica a tarefa do engenheiro de conhecimento, que pode ser levado a encarar os diversos termos como representações de significados distintos no domínio. Na estratigrafia Sedimentar, o processo deposicional conhecido como “Migração de barras longitudinais”, às vezes é chamado de “Migração de dunas longitudinais”, enquanto, segundo o especialista, ambos os nomes referem-se ao mesmo processo deposicional.

O fato do domínio ser fortemente baseado em conhecimento visual, um tipo de conhecimento que tende a não ser verbalizado pelos praticantes do domínio, é um dos principais fatores responsáveis por outra característica da terminologia da área: a existência de aspectos importantes do domínio, que são observados pelos especialistas durante a realização de suas tarefas e fundamentam suas interpretações, mas que sequer possuem termos para representá-los. Isto é, existem fenômenos no domínio (de acordo com a sua conceitualização) que não são representados pela linguagem verbal utilizada no domínio. Na Estratigrafia Sedimentar pode-se constatar a falta de terminologia quando os geólogos esboçam desenhos esquemáticos que se assemelham abstratamente às características visuais de porções da realidade que eles observaram, como um modo alternativo de registro dessas informações visuais. Este, inclusive, é um dos principais aspectos motivadores para o trabalho de (LORENZATTI et al., 2010), que propôs uma ontologia híbrida que utiliza elementos icônicos para fazer referência a abstrações visuais do domínio que não são completamente representados por símbolos linguísticos. Na subseção 7.2.1.2 também é ilustrada a dificuldade de explicar através da linguagem do domínio, como identificar visualmente uma estrutura hummocky.

Uma última característica terminológica desafiadora do domínio é a sobreposição de conceitos descritivos e conceitos interpretativos, que se manifesta em termos híbridos. A Estratigrafia Sedimentar constitui um domínio caracterizado por atividades *descritivas*, como a descrição das feições visuais observadas nos registros rochosos, e *interpretativas*, que correspondem à interpretação (geralmente da gênese) destes registros. Durante a realização destas duas tarefas distintas, há conceitos de tipos distintos que são mobilizados na tarefa e estes conceitos são representados por terminologias de naturezas também distintas. Nas tarefas descritivas, os objetos do domínio são descritos utilizando uma terminologia que representa abstrações de aspectos visuais e espaciais percebidos nestes objetos, que, supostamente, poderiam ser constatados objetivamente por outros geólogos. Ou seja, em tarefas descritivas, o conhecimento visual descritivo do geólogo é recrutado e este conhecimento manifesta-se pelo uso de terminologia descritiva. Por outro lado, nas tarefas interpretativas, são realizadas interpretações (geralmente da gênese) destes objetos descritos, utilizando-se uma terminologia que representa abstrações de processos que atuam como causas responsáveis pela formação dos objetos observados. Desta forma, nesta tarefa o conhecimento interpretativo é que deveria ser recrutado, manifestando-se no uso de terminologia interpretativa. No entanto, não é raro encontrar casos nos referências da área em que noções interpretativas interagem com noções descritivas, gerando termos híbridos. Um exemplo comum desta sobreposição ocorre quando utiliza-se um termo para referenciar um objeto resultante, mas incorporando a interpretação da causa genética. Por exemplo, a utilização do termo “Estrutura tratativa” para referenciar uma dada estrutura sedimentar observada em uma determinada fácies, já incorpora a interpretação de que esta estrutura é o resultado de um processo deposicional de Correntes Tratativas, de modo que o objeto observado passa a ser descrito com a sua interpretação não observada (que, eventualmente, pode ser não observável em princípio). Ocorre que

este termo oculta a descrição efetiva das feições que caracterizam a estrutura observada. Esta ocultação inviabiliza uma possível revisão da interpretação por outro geólogo, por exemplo. Além disso, no caso de uma alteração nas teorias do domínio que suportaram esta interpretação, este dado torna-se obsoleto, visto que não há uma descrição que possa ser reinterpretada à luz das novas teorias. Do ponto de vista da Engenharia do Conhecimento, a separação desta terminologia possibilitaria a construção de sistemas em que usuários não especializados pudessem fornecer descrições qualificadas, sem a necessidade do conhecimento interpretativo mais especializado utilizado para realizar as interpretações desses dados, desde que conhecessem a terminologia descritiva e fossem capazes de reconhecer nos objetos os aspectos visuais que elas representam. Ao mesmo tempo, desde que o conhecimento inferencial especialista fosse capturado e representado no sistema, seria possível aplicá-lo sobre os dados descritos por não especialistas, através de raciocínio automático, gerando interpretações especializadas. Considerando estes motivos, o presente trabalho incorpora o compromisso de sistematizar esta distinção entre a terminologia descritiva e a terminologia interpretativa, assumindo que dados descritivos.

### **7.2.2 Conhecimento inferencial para interpretação de processos deposicionais**

Uma vez descrita a estrutura do pacote visual (apresentada na seção 9.1), ela guiou o processo de eliciação do conhecimento inferencial utilizado para a tarefa de interpretação visual em foco neste trabalho. Este conhecimento foi eliciado em sessões de entrevistas, utilizando como suporte fotografias de fácies e estruturas sedimentares oferecidas pela literatura da área. Estas sessões basicamente consistiram em analisar fácies sedimentares tipicamente assumidas como resultados da ocorrência de Correntes Trativas Subaquáticas (um tipo de processo deposicional que foi o foco deste trabalho) e perguntar ao especialista sobre os possíveis conjuntos de atributos visuais das fácies que suportariam a interpretação do processo deposicional específico. Outra abordagem consistiu em coletar, da literatura, descrições de fácies associadas às respectivas interpretações e requisitar que o especialista extraísse da descrição os aspectos-chaves da descrição que suportariam a interpretação realizada.

O conhecimento levantado nestas sessões foi prontamente formalizado em instâncias de pacotes visuais, que foram submetidas à avaliação do especialista. Neste sentido, o processo de aquisição de conhecimento inferencial foi, na verdade, um processo de aquisição dos pacotes visuais utilizados pelo especialista. Este processo ocorreu em diversas iterações com o especialista. Um exemplo de pacote visual eliciado nesta etapa: uma fácies cuja seleção é mal selecionada, cuja gradação de lâmina é normal ou ausente, que tem presença de grãos específicos como intra-clastos ou extra-clastos e que tem uma estrutura deposicional com baixo ângulo, e com forma de lâmina acanalada, planar ou sigmoidal, foi gerada por um processo de migração de anti-dunas.

### **7.2.3 Modelo de raciocínio para resolução de problemas na Estratigrafia Sedimentar**

Durante a investigação das atividades de resolução de problemas, foram realizadas diversas observações de especialistas distintos descrevendo e interpretando fácies. Também foi realizado um acompanhamento a uma saída de campo de graduandos em Geologia, como parte das atividades da disciplina de Estratigrafia Sedimentar, em que foi possível observar um especialista desenvolvendo as habilidades dos alunos, nas tarefas de descrição e interpretação de fácies de um afloramento. Estas observações revelaram uma aparente relação estreita entre as atividades de descrição de fácies, e interpretação de

processos e ambientes deposicionais.

1. Durante a observação da resolução de problemas, na tarefa de interpretação de processos deposicionais a partir de observação visual de fácies, constatou-se que a interpretação é realizada de forma direta, no sentido de que a partir da observação da fácies o especialista é capaz de alcançar uma interpretação; e independente, no sentido de que a interpretação de cada fácies é realizada unicamente a partir da informação visual dela, sem considerar fácies adjacentes ou outras informações adicionais. Esta interpretação da observação foi confirmada pela aplicação do procedimento de aquisição de conhecimento visual e refinamento de ontologias guiado por resolução de problemas (detalhado na subseção 7.1.6), onde o especialista teve acesso apenas a informações simbolicamente descritas de fácies individuais.
2. Durante a saída de campo com a turma de alunos da disciplina de Estratigrafia Sedimentar, os alunos deveriam descrever e interpretar um afloramento. Foi possível observar que o professor (também especialista no domínio) enfatizou que os alunos deveriam usar um método de descrição e interpretação que consistia nos seguintes passos:
  - (a) Observar o afloramento de longe, com uma visão total dele, e levantar hipóteses sobre o que estavam vendo. Estas hipóteses são resultado da imaginação de possíveis processos, em possíveis ambientes deposicionais, cuja ocorrência poderia explicar aquelas aparências visuais.
  - (b) Aproximar-se sistemática e gradativamente do afloramento, refinando as observações e as hipóteses.
  - (c) Ao alcançar o afloramento, realizar o refinamento final de observações e hipóteses. Nesta etapa, para corroborar as hipóteses poderia-se utilizar o martelo no afloramento para examinar características subjacentes à superfície, apenas em pontos cruciais. Foi enfatizado que não deve-se utilizar o martelo indiscriminadamente, uma vez que isto significa a destruição de um registro geológico irrecuperável.
  - (d) Descrever o afloramento, segmentando-o em fácies significativas, através da observação de descontinuidades nos atributos visuais do corpo de rocha.
  - (e) Interpretar os processos deposicionais de cada fácies e o ambiente deposicional, sugerindo uma narrativa histórica coerente para a atuação destes processos no ambiente.

Aparentemente, a etapa de descrição das fácies e, conseqüentemente, da interpretação de processos e ambientes deposicionais é profundamente influenciado pela aproximação gradativa da observação do afloramento, de escalas maiores para as menores e pelo refinamento das hipóteses.

3. Durante a observação da tarefa de descrição de testemunhos de longa extensão, constatou-se que o especialista eventualmente voltava a fácies previamente descritas, alterando sua descrição. Aparentemente, esta revisão era motivada por informações encontradas em fácies que foram descritas posteriormente. Uma hipótese que explicaria este comportamento é a de que o especialista sempre mantém em mente padrões abstratos (modelos) de sucessão de fácies já conhecidos (referenciais) e, ao longo da descrição, ele continuamente verifica a similaridade

entre o trecho do testemunho em descrição e estes modelos que ele conhece. Quando ele encontra uma similaridade elevada, ele revisa o trecho descrito e procura evidências empíricas que o permitam casar o trecho ao modelo.

A partir de uma reflexão e racionalização destas observações, foi elaborada uma hipótese capaz de acomodar estas constatações empíricas. Quando o especialista demonstra a possibilidade de interpretar processos deposicionais a partir da observação visual *in loco* ou através das descrições simbólicas de fácies sedimentares, ele supõe que aquela informação é completa. As demais observações, por outro lado, parecem indicar que, quando o geólogo tem disponível o corpo de rochas completo (que possui toda a informação possível), ainda durante o processo de segmentação e descrição de fácies, os geólogos realizam ciclos de observação e tentativa de casamento entre o que está sendo observado e padrões abstratos previamente observados ou conhecidos. A constatação de uma similaridade elevada entre um determinado trecho do corpo de rochas em descrição e algum destes modelos conhecidos ou previamente observados, motiva a realização de novas observações. Estas novas observações são guiadas pelo propósito de tentar encontrar um grau de ajustamento maior entre o que está sendo observado no momento e este modelo previamente conhecido que é similar. Para isso, o especialista determina que conjunto de características está presente no modelo similar e que ainda não foram observadas no trecho em descrição e realiza novas observações, buscando as evidências no corpo de rochas em inspeção. Esta revisão busca maximizar o grau de similaridade entre o corpo de rochas em inspeção e o modelo análogo já conhecido, como uma forma de tentar estabelecer a coerência da totalidade observada. Esta interpretação vai ao encontro das observações realizadas por (FRODEMAN, 1995) e discutidas na seção 6.2. Como resultado deste processo podem ocorrer revisões de descrições de fácies previamente descritas, caso as novas evidências sejam encontradas. Este processo cíclico altera a forma através da qual o geólogo vê e descreve o testemunho. Desta forma, o geólogo é capaz de interpretar o processo gerador a partir de uma descrição supostamente completa da fácies, no entanto, para determinar uma descrição completa da fácies são realizados ciclos de observação e tentativa de casamento de padrões com modelos conhecidos.

Através da racionalização deste comportamento de descrição e interpretação, foi proposto um modelo que prevê dois componentes que atuam articuladamente:

**Componente de inferência direta:** Componente que permite a interpretação direta e independente de processos deposicionais formadores, a partir da observação de características visuais de uma fácies sedimentar. Este componente supõe que a descrição da fácies é completa. Este componente realiza casamentos de padrões entre os pacotes visuais que o especialista armazena em sua memória de longo prazo e os estímulos visuais observados no objeto de domínio.

**Componente de revisão:** Ao longo da descrição, ocorre um contínuo processo de casamento de padrões entre o corpo de rochas que está sendo descrito e um conjunto de modelos previamente conhecidos. Quando identifica-se um grau elevado de similaridade entre ambos, revisa-se as descrições já realizadas, buscando novas evidências empíricas que possam maximizar o grau de ajustamento entre o corpo de rochas inspecionado e o modelo similar. No caso destas evidências serem encontradas, as descrições já realizadas anteriormente podem ser revisadas. Este componente é dirigido por dados e por hipóteses.

Neste trabalho, focaremos no componente de *inferência direta* deste modelo de raciocínio, incorporando a suposição de que as descrições de fácies são sempre o mais completas possíveis. Este componente é descrito em um modelo de raciocínio, apresentado na seção 9.2. Este é o componente que realiza a tarefa de *interpretação visual* conforme compreendida neste trabalho, como *o raciocínio que envolve a realização de um processo cognitivo que inicia com a percepção visual direta de características dos objetos já conhecidos no domínio, e que resulta em compreensões mais abstratas da cena observada*, que neste caso é o processo responsável pela gênese do objeto de domínio.

#### 7.2.4 Refinamento da ontologia prévia

Neste trabalho, assumimos como premissa fundamental que o raciocínio que o geólogo realiza para resolver a tarefa de interpretação de processos deposicionais só é possível em função de um certo conjunto de conceitos, relações, atributos e valores que são utilizados para conceber e descrever as entidades do domínio, correspondendo à conceitualização compartilhada do domínio. Neste sentido, para que seja possível a realização computacional efetiva do processo de interpretação sobre a ontologia de domínio, estes conceitos, relações, atributos e valores devem necessariamente fazer parte desta ontologia em desenvolvimento. Assim, a investigação do processo de raciocínio utilizado pelos geólogos nesta tarefa específica, desempenhou também o papel de ferramenta de avaliação da ontologia e, conseqüentemente refinamento da mesma, evidenciando conhecimento faltante. Como resultado do processo de aquisição de conhecimento, foi evidenciado um novo conjunto de termos que representam conceitos, relações, atributos e valores importantes para a ontologia de domínio. Na tabela 7.3 detalha-se que tipos de termos compõem este novo conjunto e em que quantidade foram eliciadas.

Termos	Quantidade
Conceitos	23
Relações	6
Atributos	21
Valores de atributos	62

Tabela 7.3: Novos termos da ontologia de domínio

##### 7.2.4.1 Atributos e espaços de valores descritivos

Durante as sessões de aplicação da abordagem para aquisição de conhecimento visual e refinamento de ontologias guiado por resolução de problemas em contextos de informações limitadas, o especialista foi confrontado com a necessidade de realizar a tarefa de interpretação, utilizando como suporte apenas as descrições simbólicas das fácies suportadas pela Ontologia. Aplicações deste método permitiram evidenciar atributos e valores de atributos ausentes na Ontologia, mas que foram considerados importantes pelo especialista para suportar a realização das interpretações. Na subseção 7.1.6, detalha-se o procedimento utilizado nestas sessões e apresenta-se o resultado da última sessão realizada. Esta sessão de aplicação deste procedimento revelou um alto grau de correspondência entre as interpretações do especialista e as oferecidas pela literatura, sugerindo que a ontologia em desenvolvimento capturava a conceitualização necessária para suportar a atividade de interpretação de processos deposicionais de correntes trativas.

Novos refinamentos na estrutura dos processos deposicionais e na estrutura taxonômica das Estruturas Sedimentares envolveram novas etapas de reflexão a respeito da suficiência da Ontologia. Nesta etapa o especialista demonstrou-se mais familiarizado com a necessidade de refletir sobre a suficiência dos termos da ontologia para suportar as novas interpretações. Assim, foram eliciados novos atributos e valores, sem a necessidade de aplicar o procedimento descrito na subseção 7.1.6.

Entre os novos atributos de fácies sedimentar, destacam-se: Maior tamanho de grão, Menor tamanho de grão, Tamanho de grão da base, Tamanho de grão do topo, Gradação da laminar, Presença de grãos específicos, Orientação de fábrica e Suporte da fábrica. Entre os novos atributos de Estrutura Sedimentar Depositional destacam-se: Espessura da lâmina, Presença de lama e Ângulo de cavalgamento. Também foram eliciados os domínios de valores de cada um destes atributos.

#### *7.2.4.2 Taxonomias de Estruturas Depositionais e Processos Depositionais*

Para possibilitar a realização da tarefa de interpretação de diferentes Processos Depositionais específicos responsáveis pela geração de fácies sedimentares, a ontologia de domínio deve conter necessariamente termos que representam diferentes tipos de processos deposicionais. Além disso, uma vez que a presença de diferentes tipos de Estruturas Depositionais na fácies é tida como uma característica fundamental para suportar a realização da interpretação de processos deposicionais geradores, também assumimos como premissa que a ontologia de domínio deve conter primitivas para diversos tipos de Estruturas Sedimentares. Como consequência destas premissas, também assumimos que estes diferentes tipos de Processos Depositionais e estruturas Sedimentares são distinguidos uns dos outros através de diferenças, expressas através diferentes atributos e valores de atributos. Nesta etapa foi possível evidenciar como o domínio apresenta sobreposições entre nomenclatura descritiva e interpretativa e como noções interpretativas influenciam a organização de conhecimento descritivo.

Na Estratigrafia Sedimentar, tradicionalmente, as estruturas são classificadas de acordo com os processos que as criaram, através de critérios genéticos (FÁVERA, 2001). Um dos objetivos do projeto Obaitá é a proposta de uma taxonomia de estruturas deposicionais que obedeça a critérios descritivos visuais de classificação. Esta organização facilita a atividade de reconhecimento visual e distingue conhecimento descritivo de conhecimento interpretativo. O presente trabalho incorpora este compromisso, de modo que pode ser considerado como um passo nesta direção. Cabe salientar também que as taxonomias de estruturas sedimentares e de processos deposicionais não estão bem resolvidas no domínio. Deste modo, os resultados alcançados neste trabalho são originais.

O presente trabalho partiu da taxonomia de Estruturas Sedimentares e do conjunto de atributos descritivos de estruturas sedimentares já incorporados na ontologia desenvolvida durante o estágio anterior do projeto Obaitá. A partir disto, inicialmente, foi necessário eliciar o conjunto de atributos visuais descritivos que permitiriam esta classificação. Ao longo de diversas sessões de entrevistas, intercaladas com fases de racionalização da informação e modelagem, foi possível consolidar uma taxonomia de Estruturas Sedimentares deposicionais, elaborada a partir da observação de critérios visuais, mas que, ao mesmo tempo, oferece pistas importantes sobre a organização dos Processos Depositionais associados. Esta taxonomia constitui um dos resultados originais deste trabalho, uma vez que a literatura do domínio ainda não oferece esta organização criteriosa.

Em relação aos processos deposicionais, durante as primeiras entrevistas, foi possível

constatar que a partir de observações de estruturas deposicionais genéricas ou em caso de informações visuais faltantes na fácies sedimentar, o especialista foi capaz de realizar interpretações de processos deposicionais mais genéricos. Esta observação sugeriu que o domínio compreende uma noção de generalidade/especificidade em relação a tipos de processos deposicionais, indicando a possibilidade de se estabelecer também uma taxonomia de processos deposicionais no domínio.

O processo de eliciação da taxonomia de processos deposicionais partiu de uma organização taxonômica básica dos tipos de processos que o especialista costuma utilizar em suas aulas, para a disciplina de Estratigrafia Sedimentar em um curso de graduação em Geologia. A seguir, foi levantado um conjunto de possíveis tipos de processos deposicionais relatados pela literatura do domínio. A partir deste conjunto, o especialista organizou estes diversos tipos na taxonomia básica já estabelecida. Por fim, com a determinação dos pacotes visuais utilizados para interpretar cada um dos processos deposicionais já eliciados, foi possível estabelecer níveis taxonômicos intermediários. Esta etapa foi realizada, perguntando-se ao especialista se havia possibilidade de interpretar processos deposicionais mais genéricos a partir de informação mais genérica, ou informação faltante nos pacotes visuais obtidos. Com isto, foram evidenciadas categorias de processos deposicionais tais como “Corrente trativa sub-aquosa movendo silte e argila” e “Corrente trativa sub-aquosa movendo cascalho”.

## 8 ONTOLOGIA DE DOMÍNIO PARA ESTRATIGRAFIA SEDIMENTAR

Neste capítulo será apresentada a ontologia de domínio da Estratigrafia Sedimentar. O estado atual da ontologia pode ser compreendido como um refinamento da ontologia desenvolvida no estágio anterior do projeto Obaitá.

Esta ontologia sistematiza formalmente o conhecimento apresentado em linhas gerais na seção 6.1. Além de apresentar os principais conceitos do domínio previamente discutidos, neste capítulo também serão apresentadas as relações estabelecidas entre estes conceitos, e serão detalhadas as qualidades destes conceitos, bem como suas estruturas de qualidade associadas.

A ontologia aqui apresentada foi fundamentada de acordo com a UFO. Por esta razão, utilizou-se a OntoUML (*Ontological Unified Modelling Language*) como linguagem de modelagem. De acordo com (BENEVIDES et al., 2009), a OntoUML constitui uma linguagem de modelagem conceitual, que oferece construtos de representação que refletem as distinções ontológicas previstas pela UFO, e que visa possibilitar a captura da conceitualização pretendida pelo modelador de forma mais precisa. Para alcançar este objetivo, a linguagem foi criada a partir da revisão de uma porção da UML 2.0 que envolveu: a reparação do metamodelo da UML 2.0, garantindo um mapeamento isomórfico para a estrutura definida pela UFO-A (a ontologia de referência da linguagem); e a transferência da axiomatização da UFO-A para o metamodelo da UML 2.0 através de restrições formais. Esta revisão permite que o modelador expresse distinções de baixa granularidade entre diferentes tipos de classes e diferentes tipos de relações todo-parte, de acordo com a ontologia de fundamentação UFO. Além disso, as restrições formais incorporadas na linguagem garantem que a linguagem só admitirá como modelos gramaticalmente válidos aqueles modelos que satisfazem a axiomatização estabelecida pela ontologia de fundamentação UFO. Por fim, a linguagem ainda incorpora outras características importantes do ponto de vista de modelagem conceitual, tais como: um conjunto de padrões de modelagem de ontologias para solucionar alguns problemas clássicos de modelagem (por exemplo, modelagem de papéis), resolução do problema de transitividade da relação todo-parte, etc. Como a OntoUML não contempla primitivas de modelagem que transcendem o escopo da UFO-A, optou-se por representar os fragmentos da ontologia de domínio que recorrem a noções da UFO-B através de diagramas UML estereotipados, onde os estereótipos refletem construtos da UFO.

Além de oferecer suporte para o processo de interpretação de processos deposicionais, o que constitui o propósito imediato da ontologia desenvolvida, espera-se também que ela possa ser reutilizada em diversas aplicações de software futuras que auxiliem os geólogos (especialistas e novatos) na tarefa de descrição visual de Fácies Sedimentares e Estruturas

Deposicionais.

## 8.1 Apresentação da ontologia de domínio

O conceito fundamental do domínio é o de Fácies Sedimentar. Este conceito oferece princípio de identidade para as suas instâncias, uma vez que os geólogos são capazes de distinguir uma instância da outra, através da observação das suas características visuais. Este conceito também oferece princípio de unicidade para as suas instâncias. Este princípio envolve a observação de descontinuidades nas características visuais da fácies e permitem que o geólogo distinga diferentes unidades de Fácies Sedimentar. Além disso, este conceito é rígido, uma vez que instâncias de Fácies Sedimentar não podem deixar de sê-lo, a não ser que deixem de existir. Nesta ontologia Fácies Sedimentar foi considerado um *Tipo (Kind)*, segundo a UFO.

A Fácies Sedimentar é caracterizada através de dezesseis qualidades distintas, que são considerados *Universais de Qualidade (Quality Universals)*, segundo a UFO. Cada um destes Universais de Qualidade está associado a uma estrutura de qualidade que representa o espaço de valores possíveis. Cada uma dessas qualidades será detalhada a seguir, como o respectivo espaço de valores associado.

**Moda:** Define o tamanho mais frequente de grão presente na rocha. Ela é uma propriedade textural de extrema importância, pois caracteriza determinados ambientes sedimentares e fornece informações a respeito dos processos deposicionais. Sua estrutura de qualidade contém: *Silte, Argila, Areia muito fina, Areia fina, Areia média, Areia grossa, Areia muito grossa, Cascalho, Grânulo, Seixo, Bloco e Matacão.*

**Maior tamanho de grão:** Medida do maior tamanho de grão observado em uma fácies sedimentar. Sua estrutura de qualidade contém: *Silte, Argila, Areia muito fina, Areia fina, Areia média, Areia grossa, Areia muito grossa, Cascalho, Grânulo, Seixo, Bloco e Matacão.*

**Menor tamanho de grão:** Medida do menor tamanho de grão observado em uma fácies sedimentar. Sua estrutura de qualidade contém: *Silte, Argila, Areia muito fina, Areia fina, Areia média, Areia grossa, Areia muito grossa, Cascalho, Grânulo, Seixo, Bloco e Matacão.*

**Tamanho de grão da base:** A moda das medidas dos tamanhos das partículas observadas na base de uma fácies sedimentar. Sua estrutura de qualidade contém: *Silte, Argila, Areia muito fina, Areia fina, Areia média, Areia grossa, Areia muito grossa, Cascalho, Grânulo, Seixo, Bloco e Matacão.*

**Tamanho de grão do topo:** A moda das medidas dos tamanhos das partículas observadas no topo de uma fácies sedimentar. Sua estrutura de qualidade contém: *Silte, Argila, Areia muito fina, Areia fina, Areia média, Areia grossa, Areia muito grossa, Cascalho, Grânulo, Seixo, Bloco e Matacão.*

**Seleção:** Refere-se ao grau de uniformidade do tamanho das partículas formadoras de uma fácies. O sedimento cujos grãos possuem diâmetro predominantemente uniforme é classificado como bem selecionado. Já o sedimento que contém grãos com diferentes diâmetros é considerado pobremente selecionado (PRESS

et al., 2004). Sua estrutura de qualidade contém: *Muito bem selecionado, Bem selecionado, Moderadamente selecionado, Mal selecionado e Muito mal selecionado.*

**Esfericidade:** Indica o grau de aproximação que uma partícula de sedimento pode apresentar para o formato de uma esfera. Partículas de baixa esfericidade são alongadas e dão indicações sobre a área fonte. Sua estrutura de qualidade contém: *Alta, Média e Baixa.*

**Arredondamento:** Corresponde a um atributo independente da esfericidade, que indica o grau de angulosidade dos cantos das partículas de sedimento. Dessa forma, partículas bem arredondadas comumente indicam abrasão mecânica prolongada. Sua estrutura de qualidade contém: *Muito angular, Angular, Subangular, Sub-arredondado, Arredondado e Bem arredondado.*

**Cor:** indica principalmente a composição dos minérios de uma rocha e consequentemente de uma fácies. No entanto, isoladamente este atributo não é uma propriedade suficiente para a definição de diferentes fácies. Sua estrutura de qualidade contém 119 cores definidas nominalmente de acordo com a tabela padrão para rochas NBS/ISCC RC

**Litologia:** Corresponde à classificação da rocha que compõem a fácies, como resultado da combinação de aspectos químicos, mineralógicos e texturais das fácies. Sua estrutura de qualidade contém: *Conglomerado, Arenito, Siltito, Argilito, Folhelho, Pelito.*

**Gradação da camada:** Indica o modo de gradação do tamanho dos grãos ao longo da fácies, da base para o topo. A gradação normal da camada indica uma redução de granulometria da base para o topo da camada de rocha. A gradação inversa indica uma gradação que é inversa à normal, com grãos de diâmetro maior no topo, gradando para grãos com diâmetro menor na base. A fácies pode ainda apresentar gradação inexistente, quando apresenta homogeneidade no diâmetro dos grãos no sentido da base para o topo. Sua estrutura de qualidade contém: *Inexistente, normal, inversa.*

**Gradação da laminar:** Indica um aspecto análogo à gradação da camada, porém, considerando as lâminas que formam as estruturas. Ou seja, indica o modo de gradação do diâmetro dos grãos entre duas lâminas das estruturas que compõem a fácies. A medida desta gradação é realizada considerando o sentido da força responsável pela criação da lâmina, que pode ser identificado através da observação do menor ângulo entre a lâmina e a base da estrutura. Sua estrutura de qualidade contém: *Inexistente, normal, inversa.*

**Presença de grãos específicos:** Indica a presença de certos tipos de grãos específicos, importantes para interpretações futuras. Os grãos específicos podem ser intraclastos, quando trata-se de fragmentos retrabalhados de sedimento fracamente consolidados dentro da mesma bacia de deposição, pela ação de correntes, deslizamentos, etc; ou extraclastos, quando trata-se de fragmentos sedimentares cuja origem é externa ao ambiente de sedimentação. Sua estrutura de qualidade contém: *Extra-clastos, intra-clastos.*

**Orientação de fábrica:** Indica o modo de orientação dos grãos formadores da fácies. Sua estrutura de qualidade contém: *Caótica, Imbricada, Heterogênea, Homogênea, Paralela, Sub-paralela, Sem orientação.*

**Suporte da fábrica:** Indica os modos de suporte do sedimento da fácies. Sua estrutura de qualidade contém: *Fábrica cristalina, Fábrica bioconstruída indiferenciada, Fábrica bioconstruída de obstáculos, Fábrica bioconstruída de encrustação, Fábrica bioconstruída de edificação rígida, Suportado pelos grãos, Suportado pela matriz, Suportado pelo cimento, Suportado pelos grãos e pela matriz, Suportado pelos grãos e pelo cimento, Suportado pela matriz e pelo cimento, Suportado por clastos.*

**Geometria:** Refere-se às formas geométricas externas da camada que contem a fácies, independente de sua organização interna, ao longo de uma determinada extensão lateral, como resultado da deposição dos sedimentos. Muitas vezes a geometria é de difícil reconstituição, devido às limitações das exposições. Nos afloramentos a descrição de geometria se baseia principalmente na observação das espessuras das fácies e de sua continuidade lateral, enquanto em testemunhos de sondagem a sua reconstituição, em geral, não é possível. Sua estrutura de qualidade contém: *Tabular, Lenticular côncavo convexa, Lenticular topo convexo base plana, Lenticular topo plano base convexa, Sigmoide, Cunha e Irregular.*

Na Figura 8.1 é apresentado um fragmento da ontologia de domínio que representa o conceito de Fácies Sedimentar e suas qualidades<sup>1</sup>.

Além dos conceitos acima que descrevem aspectos texturais da rocha, também é de extrema importância para interpretação de ambientes sedimentares a noção de Estrutura Sedimentar, ou o aspecto visual causado pela disposição espacial dos grão ao depositar e consolidar. Os tipos básicos de Estrutura Sedimentar são: Estrutura química e diagenética, Estrutura Biogênica, Estrutura deformacional, Estrutura Topo-Base de camada e Estrutura Depositional. Todos estes conceitos oferecem princípios de identidade e princípios de individuação para as suas instâncias, e todos são rígidos, de modo que suas instâncias não podem deixar de sê-lo, sem que deixem de existir. Assim, todos são *Tipos (Kinds)*, segundo a UFO. Na versão anterior desta ontologia de domínio, estes conceitos eram considerados *Subtipos (Subkinds)* subsumidos pelo conceito de Estrutura sedimentar, que era considerado um *Tipo (Kind)*. No entanto, é importante salientar que, apesar de todos estes conceitos constituírem abstrações de padrões geométricos impressos na rocha, cada um deles oferece princípios de identidade e individuação distintos para suas instâncias e possuem um conjunto específico de qualidades que os caracterizam. Ou seja, o geólogo só é capaz de identificar e conferir unicidade a uma instância em função dos tipos básicos de Estrutura Sedimentar. Por esta razão, nesta ontologia eles são propostos como *Tipos* distintos, subsumidos pelo conceito de Estrutura Sedimentar, que aqui será considerado uma *Categoria (Category)*, uma vez que ele abstrai propriedades essenciais que são comuns a *Tipos* específicos, com critérios de identidade distintos.

<sup>1</sup>Segundo (GUIZZARDI; WAGNER, 2010), a OntoUML representa os Universais de Qualidade em ontologias de domínio, através de *funções atributo (attribute functions)* e as estruturas de qualidade associadas aos correspondentes Universais de Qualidade. Deste modo, uma *função atributo* para um Universal de Qualidade  $Q_i$  mapeia a extensão de um dado Universal Substancial  $U$  (caracterizado por  $Q_i$ ) na Estrutura de Qualidade  $EQ$  associada a  $Q_i$ . Assim, modelos OntoUML não representam diretamente *Universais de Qualidade*, mas sim suas *funções atributo*, através do construto *Datatype Relationship*, e suas *Estruturas de Qualidade*, através dos construtos *SimpleDataType* e *StructuredDatatype*

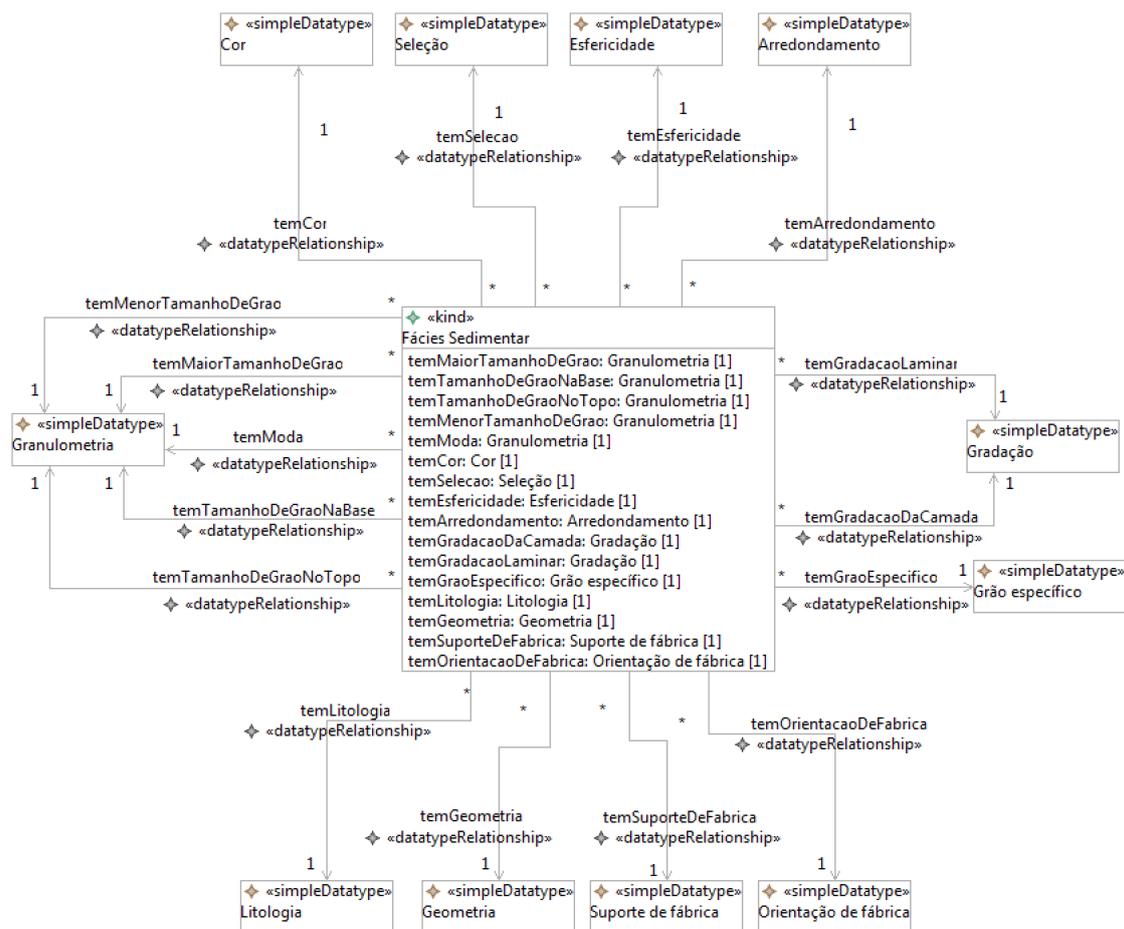


Figura 8.1: Fácies Sedimentar e seus atributos

A Fácies Sedimentar constitui um complexo funcional que é composto por outros complexos funcionais. Neste sentido, são mantidas relações de *componenteDe* (*ComponentOf*), entre a Fácies e suas partes. As partes da fácies compreendem cada um dos tipos específicos de Estrutura Sedimentar (discutidos acima) e incluem também Fóssil, que neste trabalho é considerado um *Tipo* (*Kind*), por oferecer princípios de identidade e de individuação para suas instâncias e apresentar rigidez.

A Figura 8.2 apresenta um fragmento da ontologia de domínio que representa as relações mantidas entre a Fácies Sedimentar e todas as suas partes componentes. Na mesma figura apresenta-se a *Categoria* (*Category*) Estrutura Sedimentar e todos os *Tipos* específicos de estruturas.

As Estruturas Depositionais constituem noções fundamentais deste trabalho, uma vez que são encaradas como o resultado direto da ação dos processos deposicionais, registrando características do processo gerador em padrões visuais observáveis. Por esta razão, este trabalho focou-se em organizar uma taxonomia de Estruturas Depositionais e em eliciar as suas qualidades visuais. As estruturas Sedimentares deposicionais são descritas em função do conjunto de qualidades visuais detalhado a seguir. Cada uma destas qualidades é um *Universal de Qualidade* que possui uma estrutura de qualidade associada. Na Figura 8.3 apresenta-se a Estrutura Depositional e suas qualidades.

**Forma da lâmina:** Representa o formato de cada lâmina de sedimento que compõem a estrutura. Sua estrutura de qualidade contém: *Paralela*, *Planar*, *Sigmoidal*,

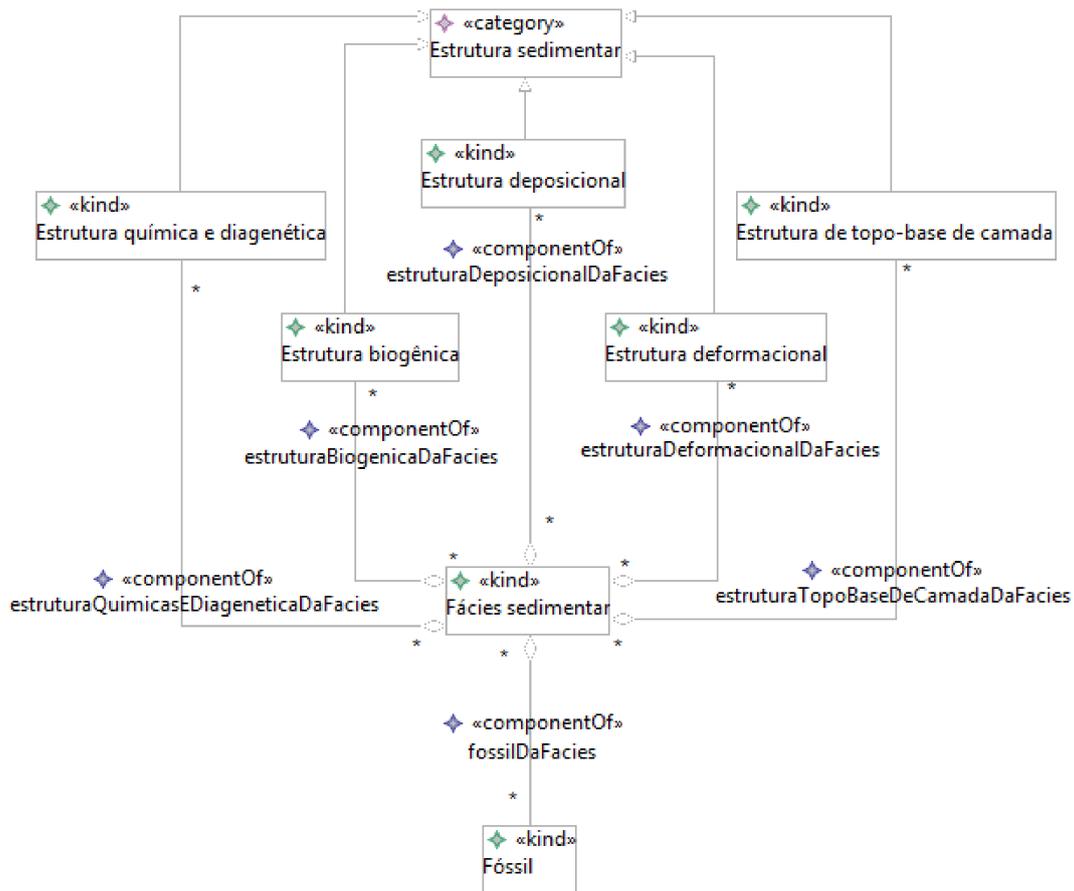


Figura 8.2: Estrutura Sedimentar, seus tipos básicos e as relações com a Fácies Sedimentar

*Tangencial, Acanalada, Ondulada Truncada, Ondulada.*

**Angularidade:** Representa o ângulo entre as lâminas de sedimento e a linha base. Sua estrutura de qualidade contém: *Horizontal, Baixo ângulo, Alto ângulo.*

**Espessura da camada:** Representa a espessura da camada da estrutura. Sua estrutura de qualidade contém: *Pequeno porte, Médio porte, Grande porte.*

**Espessura da lâmina:** Representa a espessura das lâminas da estrutura. Sua estrutura de qualidade contém: *delgada, média, espessa.*

**Presença de lama:** Indica a presença ou ausência da lama na estrutura. Sua estrutura de qualidade contém: *Presente, Ausente.*

**Ângulo de cavalgamento:** Representa o ângulo de cavalgamento da estrutura. Sua estrutura de qualidade contém: *Subcrítico, Crítico, Supercrítico.*

Tradicionalmente, o domínio oferece taxonomias incipientes de estruturas sedimentares, utilizando critérios genéticos para a organização. Ou seja, nas taxonomias oferecidas pela literatura de domínio, as estruturas deposicionais são organizadas em função dos processos deposicionais formadores. Neste trabalho, buscou-se desenvolver uma taxonomia de Estruturas Sedimentares em função da observação de critérios visuais,

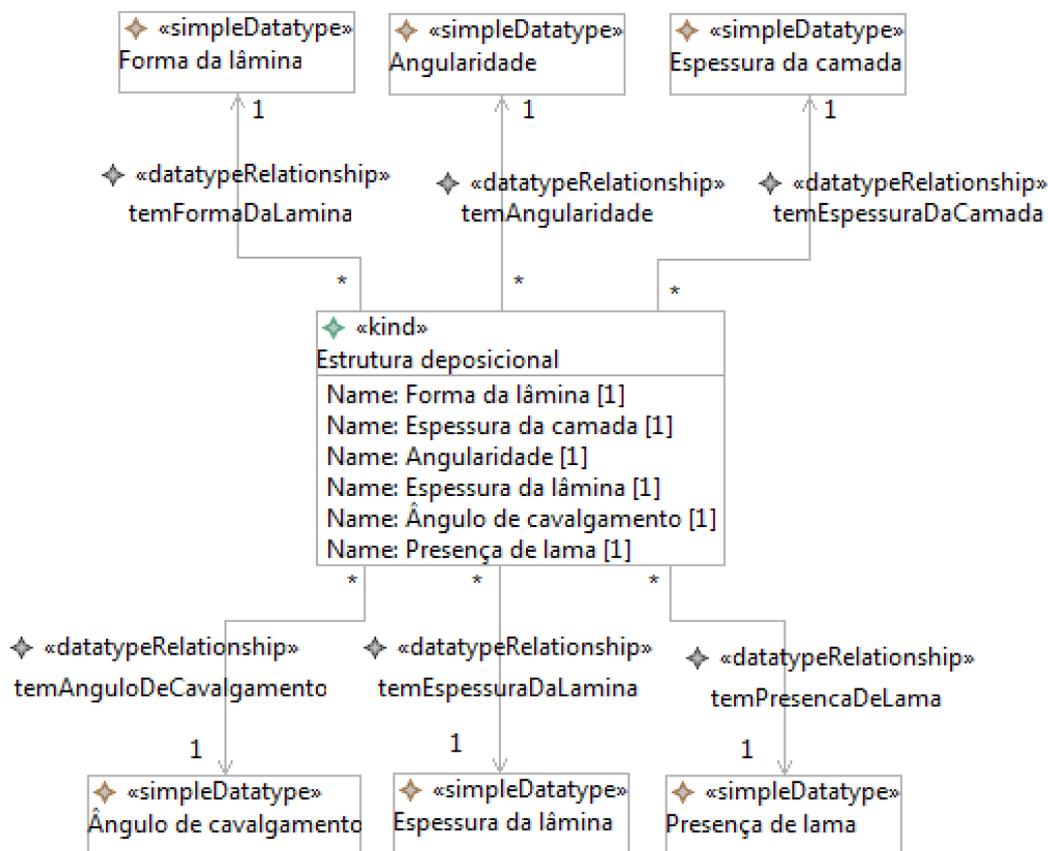


Figura 8.3: Estruturas Depositionais e suas qualidades

constituindo uma contribuição original para o domínio. Uma organização taxonômica que obedece a critérios visuais facilita o reconhecimento visual das estruturas, bem como a navegação visual pela taxonomia. A disponibilização desta taxonomia desenvolvida sobre critérios visuais viabiliza a construção de sistemas especialistas que permitem que usuários não especialistas descrevam visualmente os objetos do domínio, uma vez que não é exigido destes usuários o conhecimento interpretativo que os especialistas usam para referenciar as estruturas. Sistemas especialistas nestes moldes permitem manter uma captura qualificada de descrições visuais, mesmo quando operado por usuários não especialistas, desde que tenham conhecimento da terminologia descritiva e uma experiência mínima em identificação visual das características importantes do domínio. Ao mesmo tempo, estes sistemas ainda poderiam oferecer interpretações especializadas dos dados, armazenando o conhecimento especialista que é utilizado em interpretações, e aplicando este conhecimento sobre as descrições visuais realizadas. Na Figura 8.4 apresenta-se a taxonomia de Estruturas deposicionais.

Até o momento, todos os conceitos, relações e qualidades apresentados compõem o que chamamos neste trabalho de *Conhecimento Descritivo*, uma vez que constituem noções indispensáveis para a descrição visual dos objetos de interesse no domínio. No entanto, esta ontologia de domínio também é constituída por *Conhecimento Interpretativo*, que diz respeito ao conjunto de conceitos, relações e atributos que são interpretados a partir das descrições visuais dos objetos de domínio. Uma noção fundamental do núcleo interpretativo da ontologia de domínio é o conceito de Processo Depositional.

Processos deposicionais são entidades que ocorrem no tempo. Neste sentido,

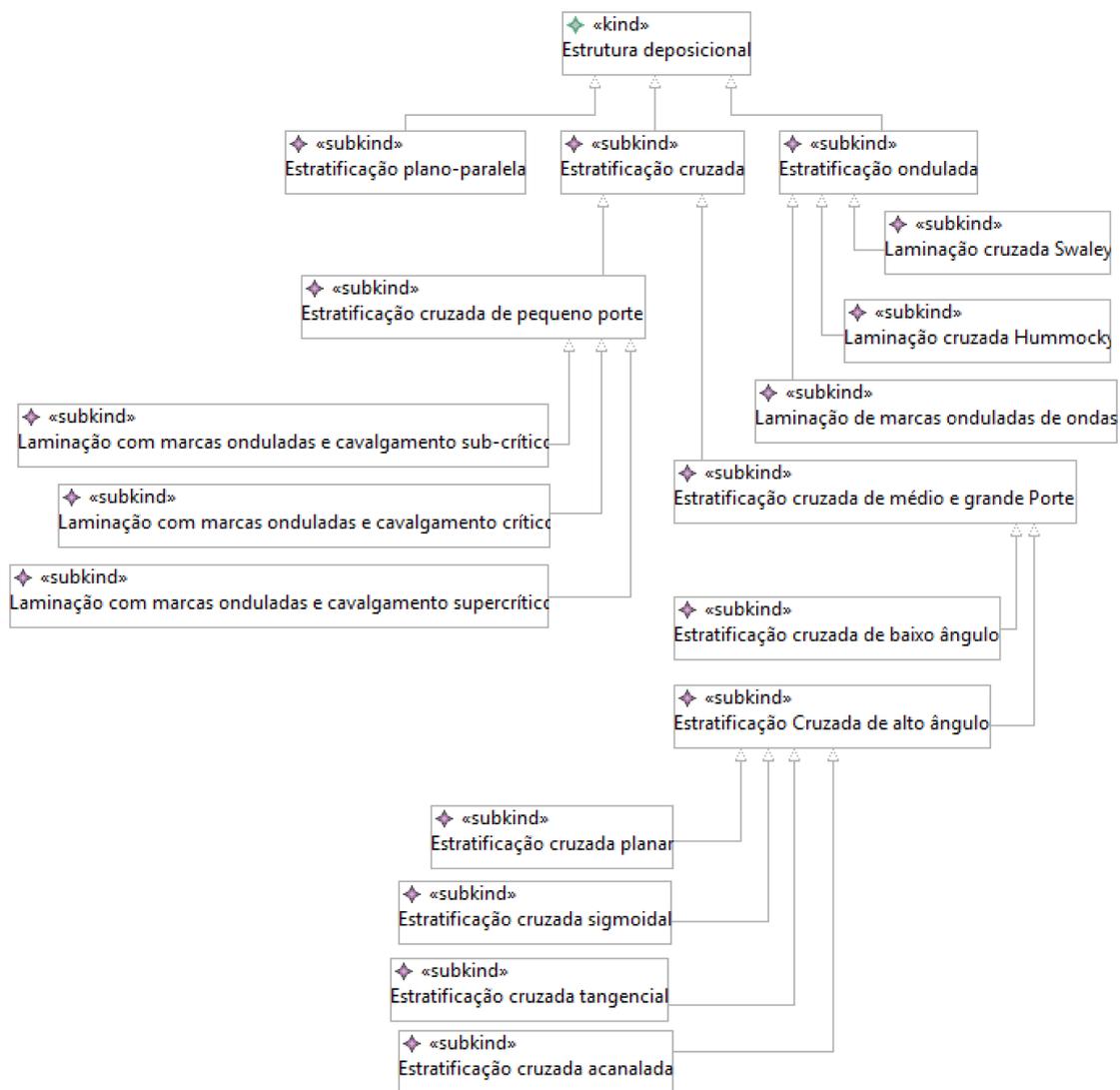


Figura 8.4: Taxonomia visual de Estruturas deposicionais

Processo Depositional é considerado um *Evento (Event)*, de acordo com a UFO. No domínio, Processos Depositionais incluem eventos de transporte e de deposição dos sedimentos, desta forma, podemos considerá-los *Eventos Complexos (Complex Event)*. Neste trabalho, não será considerado este nível de detalhe, uma vez que um dos focos é estruturar uma taxonomia destes processos. No entanto, a modelagem aqui proposta possibilita um eventual detalhamento futuro deste fragmento da ontologia.

Conforme dito anteriormente, a Fácies sedimentar constitui o resultado da ocorrência de um Processo deposicional, neste sentido, existe uma relação de *Participação (Participation)*<sup>2</sup> entre estas duas entidades, no sentido de que uma Fácies sedimentar participa de

<sup>2</sup>Em geral, os referenciais da literatura analisados para compreender a aplicação das primitivas da UFO, no que diz respeito à modelagem de eventos, focam-se em modelar eventos que são ações intencionais, realizadas por agentes. Ou seja, a maior parte dos referenciais da UFO, modelam eventos sociais, no escopo da UFO-C. Neste sentido, não foram encontradas referências da UFO-B que detalham casos em que os eventos não são ações intencionais, como é o caso deste trabalho, que está focado na modelagem de eventos naturais. Desta forma, optou-se por modelar a participação de um *Universal Substantial* em um *Evento*, como uma relação formal, mantida entre entidades destes tipos, no sentido de que apenas instâncias de *Universais Substantiais* podem participar de *Eventos*. Modelagens similares podem ser encontradas em

um Processo deposicional. Na Figura 8.5, apresenta-se uma relação de participação entre a Fácies Sedimentar e o Processo Depositional. Considera-se também que o Processo deposicional possui algumas qualidades<sup>3</sup>, que são detalhadas a seguir:

**Agente transportador:** Indica o principal agente (ou meio) responsável pelo transporte dos sedimentos no processo deposicional. Sua estrutura de qualidade contém: *Vento, Água líquida, Gravidade, Gelo.*

**Tipo de corrente:** Indica o tipo de força que atua sobre os sedimentos no agente transportador. Sua estrutura de qualidade contém: *Suspensão, Tração, Densidade.*

**Sentido da corrente:** Indica o sentido com que a corrente atua sobre os sedimentos no agente transportador. Sua estrutura de qualidade contém: *Oscilatória, unidirecional, bidirecional*

**Energia:** Indica a energia do processo. Sua estrutura de qualidade contém: *Baixa, Média, Alta.*

**Tipo de transporte:** Indica o modo através do qual os grãos dos sedimentos são transportados, em função da concentração de grãos no processo. Sua estrutura de qualidade contém: *Transporte grão a grão, Transporte de massa de grãos simultâneos.*

**Densidade:** Indica a densidade do agente transportador. Sua estrutura de qualidade contém: *Baixa, Média, Alta.*

**Regime de fluxo:** Indica o regime de fluxo do agente transportador, definindo qualitativamente a turbulência do fluxo, através de uma relação entre a inércia e a gravidade atuando no fluxo. Sua estrutura de qualidade contém: *Inferior, Intermediário, Superior.*

Os diversos tipos de Processo deposicional dão origem a uma taxonomia, em que processos mais genéricos/abstratos subsumem processos mais específicos. Este trabalho focou-se apenas em um tipo específico de Processo deposicional chamado Corrente Tratativa sub-aquática. Na Figura 8.6, apresenta-se a taxonomia de processos deposicionais, priorizando as correntes tratativas, com ênfase nas correntes tratativas subaquáticas. Este é um dos tipos mais complexos e ao mesmo tempo comuns de processos na natureza.

---

(GONÇALVES; GUIZZARDI; FILHO, 2007; BAIÔCO et al., 2009; BAIÔCO; GARCIA, 2010).

<sup>3</sup>Até o momento da redação desta dissertação não foram encontrados referenciais na literatura que indicassem se a UFO assume que eventos podem ser caracterizados por *moments* que não sejam temporais. Por este motivo, optou-se por apenas listar as qualidades que caracterizam Processos Depositionais, sem representá-las nos diagramas, uma vez que a relação com os processos não está clara

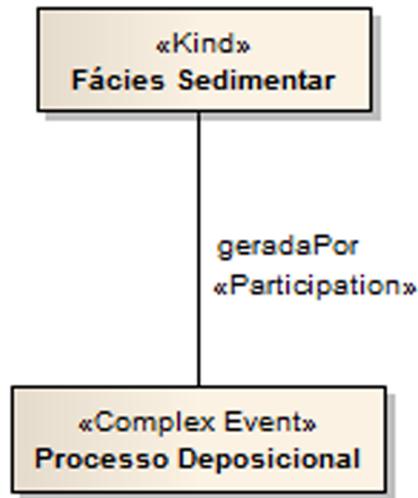


Figura 8.5: Relação entre Fácies Sedimentar e Processo Depositional

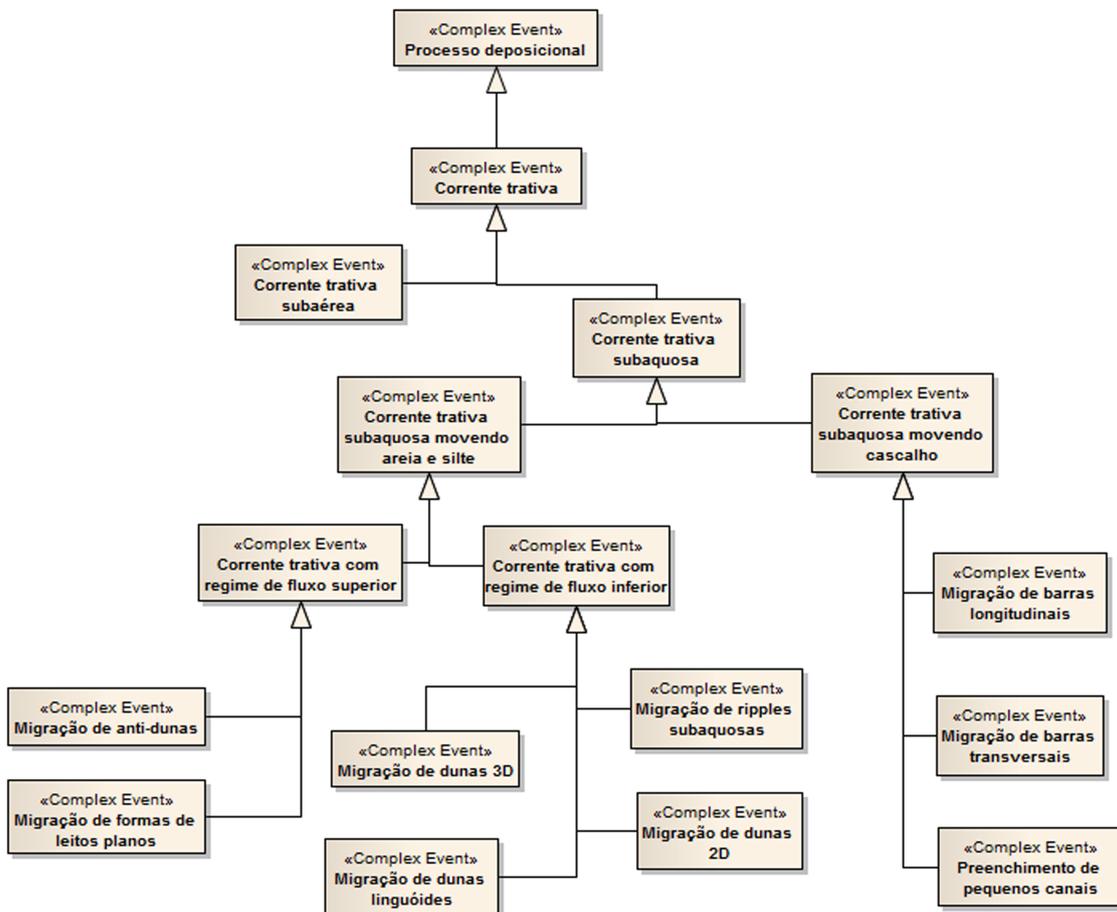


Figura 8.6: Taxonomia de processos deposicionais

## 9 ABORDAGEM PARA RESOLUÇÃO DE TAREFAS DE INTERPRETAÇÃO VISUAL

Este capítulo descreve as principais contribuições desta dissertação: uma estrutura cognitiva e filosoficamente bem fundamentada para representação de conhecimento inferencial em tarefas de interpretação visual e um modelo de raciocínio para interpretação visual que utiliza esta estrutura. Nas próximas seções ambas as contribuições serão detalhadas.

### 9.1 Pacote Visual: Modelo de estrutura para representação de conhecimento inferencial para tarefas de interpretação visual

Nesta seção será apresentada a estrutura para representação de conhecimento visual para tarefas de interpretação visual, que neste trabalho definimos como *o raciocínio que envolve a realização de um processo cognitivo que inicia com a percepção visual direta de características dos objetos já conhecidos no domínio, e que resulta em compreensões mais abstratas da cena observada*, tais como o processo responsável pela formação do objeto observado.

A partir das informações coletadas durante a aquisição de conhecimento, observadas sobre a luz das evidências apresentadas no capítulo 3, constatou-se que o conhecimento inferencial utilizado pelo especialista neste processo incorpora algumas características que podem ser mapeadas em requisitos que a estrutura de representação de conhecimento inferencial deve atender. Neste sentido, os requisitos fundamentais que esta estrutura deve atender, são discutidos a seguir.

- O especialista demonstrou ser capaz de acessar as interpretações diretamente a partir dos estímulos visuais percebidos. Assim, uma estrutura que represente este conhecimento inferencial deve promover a associação direta entre abstrações de estímulos visuais observáveis no domínio e uma interpretação abstrata, significativamente associada a estes estímulos visuais. Estas estruturas armazenam e abstraem padrões de estímulos visuais percebidos ao longo das atividades no domínio e permitem a realização da tarefa de interpretação visual guiada por reconhecimento de padrões, uma vez que estes padrões, quando percebidos em conjunto, disparam as interpretações associadas a eles.
- Por se tratar de uma estrutura que deve ser útil do ponto de vista da Engenharia do conhecimento, deve-se determinar como o conhecimento de domínio é organizado nesta estrutura e quais são os conceitos de domínio que a compõe, de um modo que reflita as características cognitivas mobilizadas em tarefas deste tipo.

A associação direta entre os estímulos perceptuais e interpretações de alto nível significativamente associadas é uma das características da estrutura cognitiva discutida na seção 3.2, chamada *pacote perceptual*. Além disso, esta estrutura é apontada na literatura como responsável por armazenar abstrações de padrões visuais, que são utilizadas para guiar o processo de resolução de problemas no domínio, através da realização de passos de casamento de padrões. Por esta razão, a estrutura para representação de conhecimento inferencial proposta neste trabalho, chamada *pacote visual*, fundamenta-se na noção de *pacote perceptual*.

Para determinar como o conhecimento de domínio compõe a estrutura do pacote visual, é necessário determinar quais termos do domínio representam abstrações de entidades do mundo que podem ser visualmente percebidas, e determinar restrições ontológicas que garantam que apenas conceitos com certas propriedades possam participar do pacote visual. Na seção 3.3 discutiu-se que a percepção dos objetos depende do estabelecimento de uma relação direta, causal e informacional com um conjunto de objetos externos, que possuem corpos materiais únicos e partes coesas organizadas hierarquicamente e que existem independentemente dos estados internos do agente que percebe e seu sistema perceptual. Segundo a UFO, os Universais Substanciais são aqueles cujos indivíduos são existencialmente independentes e são fundados em matéria (GUIZZARDI, 2006b). Por esta razão, assumimos que as entidades de domínio que são passíveis de inspeção visual são as instâncias de *Universais Substanciais*. Deste modo, apenas conceitos do domínio que são *Universais Substanciais* (incluindo seus tipos específicos) constituem abstrações mentais de entidades que podem disparar pacotes visuais através da percepção visual

Os estímulos visuais que compõem o pacote visual são conjuntos de indivíduos de Qualidade (*Quality individuals*), que correspondem a instâncias de Universais de Qualidade (*Quality Universals*) que caracterizam o universal substancial, cujo indivíduo pode ser visualmente observado. Em pacotes visuais, cada uma das qualidades visuais que suportam a interpretação abstrata pode assumir um dos valores de um sub-conjunto restrito da sua respectiva estrutura de qualidade. Isto se deve ao fato de que apenas alguns dos valores da estrutura de qualidade constituem estímulos visuais que suportam a interpretação associada ao pacote visual. Assim, este sub-conjunto restrito reflete o conhecimento especialista, especificando quais valores são admitidos para uma certa qualidade que compõe o pacote visual, para que a interpretação abstrata associada seja disparada.

O pacote visual também preserva a importância cognitiva da noção de parte (conforme visto na seção 3.3.2), de modo que a totalidade observada pode ser composta de partes visualmente significativas para suportar a interpretação. As partes desempenham um papel importante em processos que relacionam a percepção e a cognição de alto nível, uma vez que atuam ao mesmo tempo como saliências perceptuais importantes para o reconhecimento, e como suportes para inferências abstratas relacionadas à função ou comportamentos dinâmicos associados ao objeto observado.

O pacote visual pode ser visto como um modelo que permite uma descrição em alto nível das estruturas cognitivas responsáveis pelos altos índices de perícia em tarefas de interpretação visual, armazenando abstrações de padrões visuais do domínio, que são construídos através do processo de empacotamento de experiências acumuladas ao longo do tempo pelos especialistas, enquanto realizam suas tarefas no domínio. Desta forma, esta estrutura busca descrever os conjuntos de abstrações de estímulos visuais que disparam as interpretações realizadas pelos especialistas, bem como as próprias

interpretações, em termos de conhecimento de domínio. Este objetivo é realizado, determinando-se quais conceitos do domínio podem participar do pacote visual e como estes conceitos estão relacionadas. As restrições que ditam quais conceitos do domínio podem participar de pacotes visuais e como estão organizados foram definidas através de meta-propriedades previstas pela UFO. Desta forma, os construtos utilizados para estruturar os pacotes visuais encapsulam termos de domínio, obedecendo certas restrições ontológicas.

A adoção do Pacote Visual como modelo de estrutura para representação de conhecimento inferencial para tarefas de interpretação visual oferece alguns benefícios, tais como:

- Oferece fundamentação cognitiva e filosófica para estruturas para representação de conhecimento inferencial utilizadas em tarefas de interpretação visual em domínios imagísticos, em que o conhecimento inferencial eliciado do especialista relaciona estímulos visuais percebidos a interpretações abstratas no domínio.
- Uma vez que esta estrutura preserva as características cognitivas relacionadas a realização de tarefas deste tipo, sua adoção permite aproximar o conjunto dos modelos de conhecimento inferencial possíveis (considerando este tipo de tarefa), daqueles pretendidos. Esta aproximação é realizada através da incorporação das características cognitivas apresentadas no capítulo 3 na forma de restrições ontológicas sobre os conceitos de domínio que compõem a estrutura. Como consequência, o Pacote Visual captura de forma mais estreita a organização do conhecimento inferencial utilizado pelo especialista em tarefas de interpretação visual.
- Guia o processo de aquisição do conhecimento inferencial utilizado pelo especialista em tarefas de interpretação visual. O Pacote Visual estabelece que tipo de conhecimento é importante para a realização das inferências. Com isso, o engenheiro de conhecimento pode focar-se em eliciar este conhecimento específico.
- Facilita a manutenção do conhecimento inferencial em aplicações computacionais baseadas em conhecimento para domínios imagísticos, uma vez que o Pacote Visual possui uma estrutura formal conhecida e bem definida.
- O pacote visual incorpora o compromisso com a separação entre as entidades que são efetivamente percebidas visualmente e suas respectivas interpretações. Esta separação permite a construção de sistemas que aplicam conhecimento especialista para interpretação, sobre descrições de objetos de domínio realizadas por usuários não especialistas (desde que conheçam a terminologia e sejam capazes de identificar na realidade as características que elas representam).

### 9.1.1 Caracterização

Sendo  $O$  uma ontologia de domínio,  $V$  é o vocabulário que representa esta ontologia. O vocabulário de interesse para a realização da tarefa de interpretação visual de eventos é denotado por  $V_{ive}$ , e corresponde a um sub-conjunto de  $V$ . O  $V_{ive}$  contém dois conjuntos disjuntos:  $V_{cv}$  e  $V_{ci}$ . O  $V_{cv}$  representa o conhecimento visual que é utilizado nesta tarefa, ou seja, corresponde ao conjunto de termos de domínio que representam conceitos, relações, atributos e valores usados pelo especialista para descrever visualmente os objetos de interesse do domínio. Enquanto  $V_{ci}$  representa o conhecimento interpretativo

que é utilizado nesta tarefa, ou seja, corresponde ao conjunto de termos de domínio que representam conceitos, relações, atributos e valores utilizados para descrever eventos que podem ser interpretados através da inspeção visual dos objetos de domínio descritos por  $V_{cv}$ . Assim:

$$\begin{aligned} V_{ive} &\subseteq V \\ V_{ive} &= V_{cv} \cup V_{ci} \\ V_{vc} \cap V_{ci} &= \emptyset \end{aligned}$$

Em um nível abstrato, um *Pacote Visual* tem a forma geral de uma produção, tal como

$$\textit{antecedente} \implies \textit{consequente},$$

onde o *antecedente* é constituído por termos do domínio  $t_{cv}$ , onde  $t_{cv} \in V_{cv}$ , e o *consequente* é constituído por termos do domínio  $t_{ci}$ , onde  $t_{ci} \in V_{ci}$ . Nosso objetivo é restringir os vocabulários  $V_{cv}$  e  $V_{ci}$ , preservando as características cognitivas apresentadas no capítulo 3, através da incorporação de restrições da UFO. Deste modo, estes vocabulários devem conter apenas conceitos e relações classificados por certos meta-conceitos e relações oferecidas pela UFO.

O vocabulário  $V_{cv}$  deve conter apenas e exclusivamente termos da ontologia que podem ser encapsulados pelos seguintes construtos:

**EntidadeObservavel:** De acordo com o que foi dito anteriormente neste capítulo, considera-se que apenas instâncias de *Universais Substanciais* (e seus sub-tipos previstos na taxonomia da UFO) podem ser visualmente percebidas e, desta forma, são as únicas entidades que podem suportar as atividades de interpretação visual em foco neste trabalho. Deste modo, *EntidadeObservavel* mapeia conceitos do domínio que são considerados *Universais Substanciais*.

**AtributoVisual:** Como dito anteriormente, as qualidades visuais da entidade observável são *Universais de Qualidade* definidos na ontologia de domínio. Neste sentido, o *AtributoVisual* representa uma *função atributo* derivada de um dado *Universal de Qualidade UQ* do domínio, que mapeia indivíduos de *EntidadeObservavel* em valores da *Estrutura de Qualidade* associada à *UQ*.

**QualiaVisual:** Constitui um sub-conjunto de valores que pertencem à *Estrutura de Qualidade* associada a uma *Universal de Qualidade* do domínio (uma qualidade visual), representando o co-domínio admissível de um *AtributoVisual* em um *PacoteVisual*. Neste sentido, a *QualiaVisual* constitui o conjunto de valores que um *AtributoVisual* pode assumir para suportar a interpretação em um dado pacote visual.

**QualeVisual :** Representa um valor que pertence à *Qualia Visual* admitida para um *AtributoVisual* em um pacote visual.

**RelacaoParteDe:** Representa uma relação partonômica entre duas *EntidadeObservavel* no domínio. Esta relação é uma das previstas pela UFO (componentOf, subQuantityOf, subCollectionOf e memberOf), de modo que o tipo específico de relação depende da natureza ontológica dos conceitos de domínio que são consideradas *EntidadeObservavel* e que estão relacionadas por ela.

O vocabulário  $V_{ci}$  deve conter apenas e exclusivamente termos previstos pelos seguintes construtos:

**EventoInterpretavel:** Representa conceitos de domínio que abstraem os eventos responsáveis pela geração da *EntidadeObservavel*. Estes conceitos são classificados como *Event* na UFO. Como um requisito adicional, o domínio deve oferecer uma taxonomia de *EventoInterpretavel*, uma vez que a tarefa de interpretação visual tem como objetivo encontrar o sub-tipo mais específico de *EventoInterpretavel* responsável pela geração da instância de *EntidadeObservavel* sob inspeção visual.

O *Pacote Visual* é o resultado da organização de algumas estruturas internas, que representam padrões recorrentes de relações entre os construtos previamente apresentados. Esta estrutura é descrita a seguir, de um modo semi-formal.

Primeiramente, um *PacoteVisual* constitui uma estrutura que relaciona uma estrutura *EV*, que representa o conjunto de estímulos visuais que dispara a interpretação e *EventoInterpretavel*, que representa o evento interpretável disparado pela percepção dos estímulos.

$$PacoteVisual =_{def} (EV, EventoInterpretavel)$$

*EV* podem ser simples (*EVS*), representando um conjunto simples de estímulos visuais, ou complexas (*EVC*), representando um conjunto complexo de estímulos visuais.

$$EV =_{def} EVS \vee EVC$$

*EVS* é uma estrutura que relaciona uma *EntidadeObservavel* e um conjunto de estímulos visuais possíveis (*EVP*).

$$EVS =_{def} (EntidadeObservavel, \{EVP_1, \dots, EVP_n\})$$

*EVP* é uma estrutura que relaciona um *AtributoVisual* à *QualiaVisual* que representa o seu co-domínio admissível.

$$EVP =_{def} (AtributoVisual, QualiaVisual)$$

*EVC*, por outro lado, é uma estrutura que relaciona *EVS* a um conjunto de *PV*.

$$EVC =_{def} (EVS, \{PV_1, \dots, PV_n\})$$

*PV* é uma estrutura que representa uma parte visual, relacionando uma *RelacaoParteDe* a um conjunto de *EV*, onde cada *EV*, deriva de uma (*EntidadeObservavel<sub>parte</sub>*), que corresponde a uma parte da *EntidadeObservavel* (representando a totalidade visualmente observada). A *RelacaoParteDe* relaciona a *EntidadeObservavel* que é uma totalidade à *EntidadeObservavel<sub>parte</sub>*, que é sua parte. Neste caso, há uma disjunção de entidades possíveis, com propriedades visuais próprias, que são admitidas em um pacote visual como partes da totalidade observada, para suportar a interpretação

$$PV =_{def} (RelacaoParteDe, \{EV_1, \dots, EV_n\})$$

Instâncias de pacotes visuais são construídas de acordo com esta estrutura geral. Em um procedimento de interpretação visual, como o estudado neste trabalho, que é guiado por reconhecimento de padrões, o conhecimento contido em um pacote é confrontado com a descrição simbólica da instância específica de *EntidadeObservavel* que está sendo

visualmente inspecionada, de acordo com esta estrutura. Este processo é realizado através da verificação do casamento entre padrões simbólicos que representam estímulos visuais percebidos e padrões simbólicos que representam os estímulos visuais esperados para suportar a interpretação. Em caso de reconhecimento positivo, a interpretação associada ao pacote é disparada. Assim, considerando um *PacoteVisual* específico, quando *EV* é encontrada, então *EventoInterpretavel* é também encontrada. No caso de *EV* ser uma *EVS*, ela é encontrada quando todas as *EVP* relacionadas a *EntidadeObservavel* são encontradas. Uma *EVP* é encontrada quando é constatado um mapeamento entre o indivíduo da *EntidadeObservavel* que está sendo inspecionada, em um dos valores da *QualiaVisual* que representa o seu conjunto de valores admissíveis, através do *AtributoVisual* correspondente. Por outro lado, um *EVC* é encontrado quando *EVS* é encontrada e cada uma das *PV* é encontrada. Uma *PV* é encontrada quando há uma *RelacaoParteDe* entre a *EntidadeObservavel* e uma *EntidadeObservavel<sub>parte</sub>* que é sua parte, e quando no mínimo uma *EVS* (derivada da *EntidadeObservavel<sub>parte</sub>*) é encontrada.

A estrutura geral de um pacote visual pode ser representada através de uma estrutura gráfica que descreve como os construtos que compõem o pacote visual estão relacionados. A Figura 9.1 apresenta um exemplo genérico desta estrutura. Este exemplo apresenta um pacote visual cujo *EventoInterpretavel* encapsula um conceito de domínio hipotético, representado por *ei*. Ou seja, é um pacote visual que dispara como interpretação o conceito de domínio representado por *ei*, no caso de um determinado conjunto de estímulos visuais serem percebidos. Estes estímulos são modelados como um conjunto de conceitos de domínio que desempenham os papéis de *EntidadeObservavel*, *AtributoVisual*, *QualeVisual* e *RelacaoParteDe*. Neste exemplo, o pacote visual abstrai os estímulos visuais decorrentes da observação de uma entidade que é instância do conceito representado pelo termos de domínio *eo1* (a *EntidadeObservavel*). Para a interpretação *ei* ser disparada, *eo1* deve apresentar um dos valores do conjunto *qv1, qv2, qv3* para o *AtributoVisual av1* e o valor *qv4* para o *AtributoVisual av2*. Além disso, também é necessário que seja visualmente percebida uma *EntidadeObservavel* que é parte de *eo1*, relacionada a ela através de *rpd*, uma *RelacaoParteDe*. Neste pacote visual específico as possíveis partes de *eo1* que suportam *ei* são uma *eoc1* com o valor *qv5* para o *AtributoVisual av3*, ou uma *eoc2* com o valor *qv6* para o *AtributoVisual av4*. Ou seja, há uma disjunção nas caracterizações da parte necessária para suportar a interpretação, de modo que a interpretação será suportada mesmo no caso de apenas uma das partes ser observada. A representação gráfica deste exemplo sintetiza a complexidade da descrição deste pacote visual.

## 9.2 Modelo de raciocínio para interpretação visual de eventos geradores

A partir da observação do processo de raciocínio que o especialista utiliza para realizar interpretações visuais no domínio, foi proposto um modelo abstrato que busca sistematizar este processo, em termos de um conjunto de inferências e do conhecimento que é utilizado (como entradas e saídas) nestas inferências. Este modelo utiliza os *Pacotes Visuais* apresentados na seção 9.1, como estruturas para representação de conhecimento inferencial.

O modelo de raciocínio proposto assume a existência de uma ontologia de domínio. A ontologia deve prover termos que representam conceitos que são considerados *Entidades*

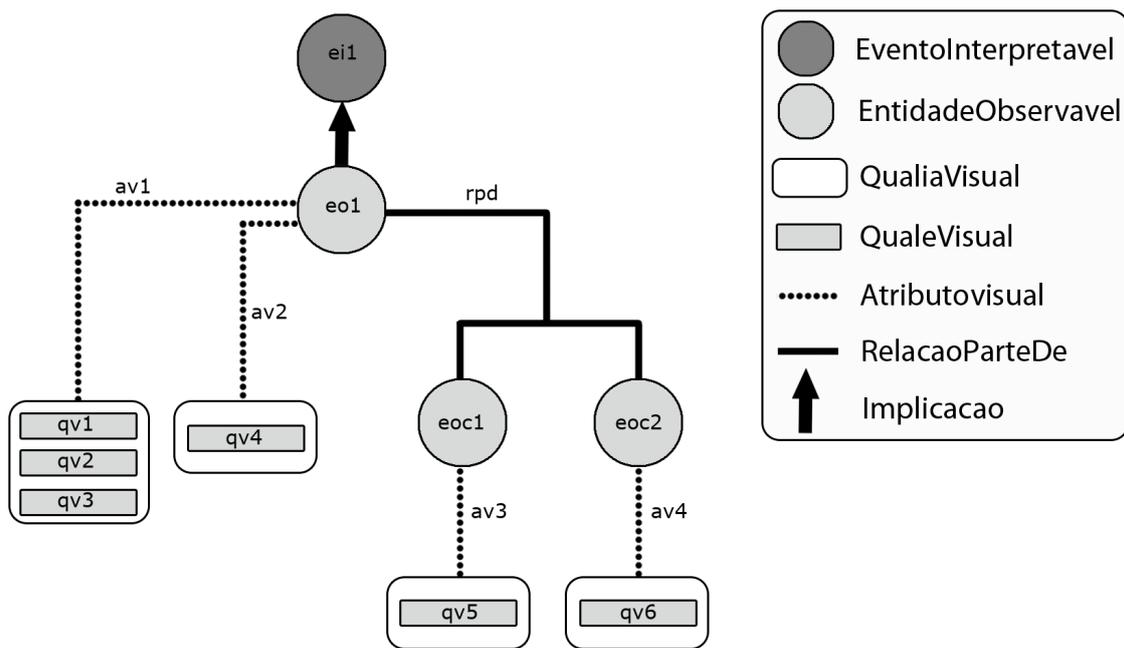


Figura 9.1: Representação gráfica de um pacote visual

*Observáveis* e termos, organizados em uma taxonomia, que representam conceitos que são considerados *Eventos Interpretáveis*. Além disso, parte-se da suposição de que as instâncias do usuário, que constituem a entrada do modelo de raciocínio, estão corretamente descritas em função do vocabulário previsto pela ontologia de domínio (e que também é encapsulado pelo pacote visual).

Apesar do modelo aqui proposto ter sido elaborado a partir da investigação de uma única tarefa em um domínio específico, espera-se que ele possa ser reutilizado em outras tarefas de interpretação visual de eventos geradores, em outros domínios com características semelhantes ou ser utilizado para realizar outras interpretações que não a de eventos geradores.

A descrição do modelo de raciocínio proposto aqui, descrito utilizando a notação CommonKADS (SCHREIBER et al., 1999), compreende:

**Competência:** Uma vez tomadas a descrição visual de uma *Entidade Observável* e uma taxonomia de *Eventos Interpretáveis*, inferir o *Evento Interpretável* específico que foi o responsável pela formação da Entidade Observável.

**Suposição:** As características visuais registradas na *Entidade Observável* do domínio, indicam o *Evento Interpretável* responsável pela sua geração. Esta relação é estabelecida pelos pacotes visuais dos especialistas.

**Requisitos:** Um conjunto de *Pacotes Visuais* que o especialista aplica para relacionar os estímulos visuais da *Entidade Observável* ao *Evento Interpretável*.

Além disso, a descrição do modelo de raciocínio também envolve a sua *especificação operacional*, que descreve as ações de inferência realizadas ao longo do processo de raciocínio, bem como o conhecimento que constitui as entradas e saídas de cada inferência. A seguir, são detalhadas as ações de inferência previstas neste modelo:

**Especializar:** Recebe como entrada um evento interpretável (conceito) e retorna cada um dos eventos interpretáveis (sub-conceitos) imediatamente mais especializados, de acordo com taxonomia que organiza hierarquicamente estes eventos interpretáveis no domínio (conhecimento estático do domínio).

**Cobrir:** Recebe como entrada um evento interpretável, e, verificando quais pacotes visuais do domínio (conhecimento estático) cobrem este evento, recupera de cada um destes pacotes a entidade observável associada, retornando-a.

**Decompor:** Recebe como entrada um objeto complexo, que tem outros objetos (possivelmente complexos) como partes e produz como saída cada um dos objetos que constituem suas partes.

**Confrontar:** Confronta dois objetos de entrada em função das suas características e retorna como resultado um valor lógico que indica se ocorreu ou não casamento.

A Figura 9.2 representa a especificação operacional do modelo de raciocínio proposto, apresentando a estrutura de controle, as ações de inferência e os papéis de conhecimento, utilizando a notação de CommonKADS, descrita em.

O modelo de raciocínio recebe como entrada um *Evento Interpretável (conceito)* (1) (que, no primeiro passo, corresponde à raiz da taxonomia de eventos interpretáveis oferecida pela ontologia de domínio), e uma *Entidade Descrita* (7), que representa a instância visualmente observada efetivamente descrita e que se deseja interpretar. A seguir, o *Evento interpretável* é especializado em cada um dos *Eventos Interpretáveis (sub-conceito)* (3) que constituem seus sub-conceitos diretas. Esta especialização é realizada em função das restrições colocadas pela *taxonomia de eventos interpretáveis* (3) que é parte da ontologia de domínio. Desta forma, os candidatos são sempre filhos diretos do *Evento interpretável (conceito)* dado. Em seguida, a partir do conjunto de *Pacotes visuais* (4) que constituem conhecimento estático do domínio, verifica-se quais deles cobrem um dado *Evento Interpretável (sub-conceito)*, retornando a respectiva *Entidade observável* (5) prevista por cada um destes pacotes visuais. Cada *Entidade observável* é decomposta nas *Entidades observáveis (parte)* (6) e cada uma destas partes é retornada. A *Entidade descrita* (7) é decomposta nas *Entidades descritas (parte)* (8) e cada uma destas partes é retornada. Por fim, as *Entidades observáveis (parte)* e as *Entidades descritas (parte)* são confrontadas em função das características visuais que elas descrevem, retornando um *resultado* que corresponde a um valor lógico que indica se ocorreu um casamento entre as características das entradas ou não. No confrontamento, só é retornado um valor verdadeiro como resultado no caso de ocorrer um casamento completo entre as características, isto é, quando todas as características encapsuladas na descrição da *Entidade Observável* (que constitui um pacote visual) são efetivamente encontradas na *Entidade Descrita*. Neste sentido, o modelo ignora casamentos parciais e tratamento de incerteza.

Este processo percorre a taxonomia de *Eventos Interpretáveis* da raiz para as folhas (*top-down*), tentando alcançar uma interpretação mais específica a cada passo. A saída do modelo de raciocínio corresponde ao último *Evento interpretável* que teve pelo menos uma caracterização de *Entidade Observável* (prevista por um *Pacote Visual* no domínio) casado com as características visuais da *Entidade descrita* examinada, ou, no caso de nenhum pacote visual oferecer cobertura, a raiz da taxonomia é retornada. Este processo é repetido iterativamente até que uma de duas condições possíveis seja alcançada: (i) a interpretação corrente (*Evento Interpretável*) corresponde a uma folha da

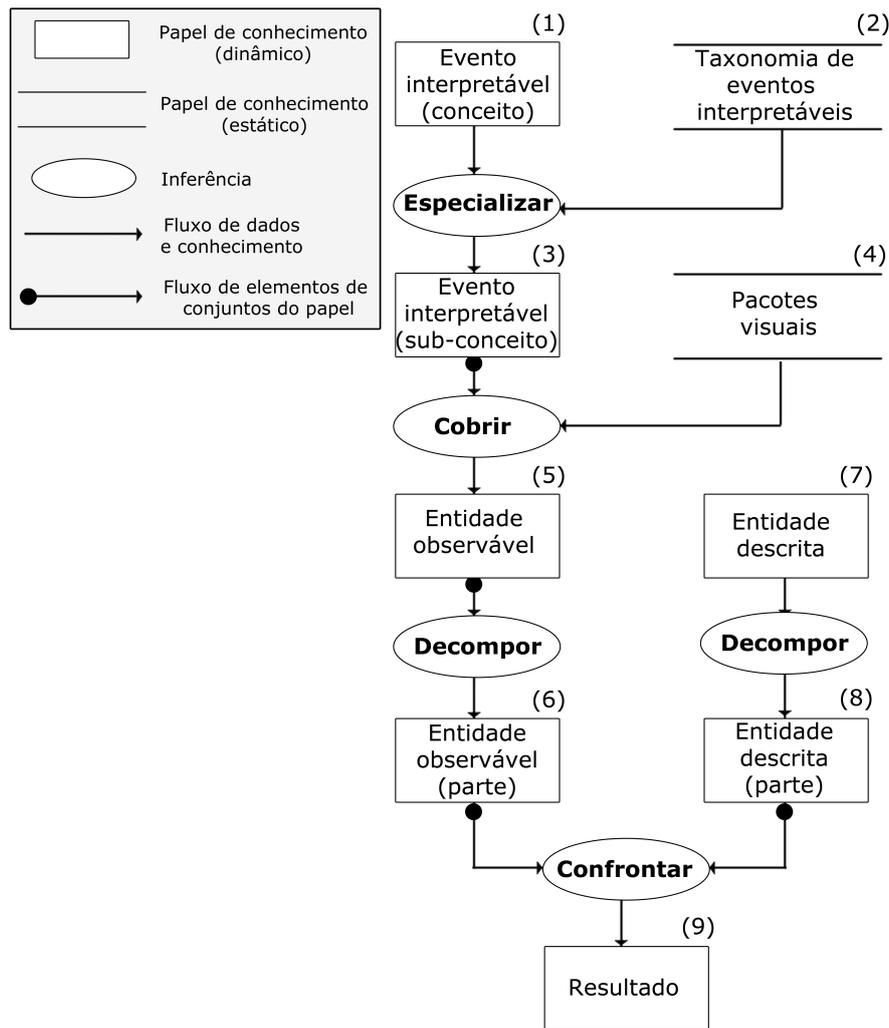


Figura 9.2: Representação da especificação operacional do modelo de raciocínio para interpretação visual de eventos geradores

taxonomia de *Eventos interpretáveis*, indicando que o processo de interpretação alcançou a interpretação mais específica possível para a descrição visual fornecida; ou (ii) o processo de casamento de padrões retorna falso para todas as *Entidades Observáveis* previstas por todos os *Pacotes Visuais* de todos os (*Eventos Interpretáveis (sub-conceito)*) especializados, indicando que apenas uma interpretação mais genérica pode ser alcançada a partir da descrição visual fornecida. Neste caso, a interpretação corresponde ao *Evento interpretável (conceito)* que foi interpretado na iteração anterior.

Este modelo de raciocínio pode ser visto como um processo de geração de *Eventos Interpretáveis (sub-conceito)*, verificação da cobertura que os *pacotes visuais* do domínio oferecem para cada um deles, e um casamento de padrões simbólicos entre as características visuais armazenadas nas *Entidades Observáveis* previstas nestes *Pacotes Visuais* e as descrições visuais simbólicas das *Entidades descritas* (instância do domínio observada e descrita pelo usuário), buscando simular em alto nível o processo de casamento de padrões utilizado pelos especialistas em domínios imagísticos para guiar a resolução de problemas. Cada *Evento Interpretável (sub-conceito)* é gerado de acordo com restrições incorporadas na taxonomia de *Eventos Interpretáveis* do domínio. Neste sentido, quando um *Evento Interpretável (sub-conceito)* é provado, o próximo passo o assume como um

*Evento Interpretável (conceito)*, de modo que serão testados seus filhos na taxonomia. Esta estrutura permitiu explorar as vantagens da estrutura taxonômica para garantir a preservação da robustez do raciocínio especialista no que diz respeito à informação faltante nas descrições visuais. Assim, o modelo de raciocínio é capaz de sugerir interpretações em diversos níveis de generalidade, conforme a qualidade das descrições analisadas.

Em relação ao raciocínio utilizado pelo especialista para realizar a tarefa, este modelo de raciocínio inverte a direção da inferência. A inferência utilizada pelo especialista é dirigida por dados. Neste sentido, os estímulos percebidos na entidade observada funcionam como índices para a interpretação. Apesar dos Pacotes Visuais suportarem inferências em ambas as direções, o modelo dirigido por hipóteses foi adotado por facilitar a estruturação do conhecimento e a implementação, aumentando a chance de reuso em múltiplos domínios, para outras tarefas de interpretação visual.

A Figura 9.3 apresenta este método de raciocínio para resolução da tarefa de interpretação visual de eventos geradores.

```

TAREFA interpretacao_de_evento_gerador;
  PAPÉIS:
    ENTRADA: Entidade_Descrita: "Objeto do domínio que foi visualmente descrito pelo usuário e do qual se
deseja interpretar o evento gerador correspondente";
    SAÍDA: Evento_Interpretavel_Conceito: "O tipo do evento gerador da entidade descrita";
  ESPEFIFICACAO:
    "Interpreta o evento gerador da entidade visualmente descrita";
  FIM TAREFA interpretacao_de_evento_gerador;

MÉTODO-TAREFA geracao_de_hipóteses_e_teste_por_casamento_de_padroes
  REALIZA: interpreta_evento_gerador;
  DECOMPOSICAO: Especializar, Cobrir, Decompor, Confrontar;
  PAPEIS:
    INTERMEDIARIOS:
      Evento_Interpretavel_Sub: "Sub-conceito do Evento_Interpretavel_Conceito, de acordo com a taxonomia
de eventos interpretáveis";
      Entidade_Obervavel: "Objeto que encapsula, em um pacote visual, uma descrição das características
visuais relevantes de uma Entidade interpretável, para suportar a interpretação do evento interpretável
associado";
      Entidade_Obervavel_Parte: "Objeto que é parte do objeto Entidade_Obervavel, em um pacote visual, e
que encapsula parte das características visuais relevantes para suportar a interpretação do evento interpretável
associado";
      Entidade_Descrita_Parte: "Parte do objeto do domínio que foi visualmente descrito pelo usuário e que
encapsula parte da descrição das suas características relevantes para a interpretação";
      Resultado: "O resultado do processo de confrontamento, correspondendo a um valor lógico de verdadeiro
ou falso";
    ESTRUTURA-CONTROLE:
      ENQUANTO NOVA-SOLUCAO especializar(Evento_Interpretavel_Conceito -> Evento_Interpretavel_Sub);
      resultado := falso;
      ENQUANTO NOVA-SOLUCAO cobrir(Evento_Interpretavel_Sub + pacotes_visuais -> Entidade_Obervavel)
OU resultado = falso
      resultado := verdadeiro;
      ENQUANTO NOVA-SOLUCAO decompor(Entidade_Obervavel -> Entidade_Obervavel_Parte) OU
resultado = verdadeiro
      decompor(Entidade_Descrita -> Entidade_Descrita_Parte);
      confrontar(Entidade_Obervavel_Parte + Entidade_Descrita_Parte -> resultado);
      FIM ENQUANTO
      SE resultado = verdadeiro ENTAO
      Evento_Interpretavel_Conceito := Evento_Interpretavel_Sub
      FIM SE
      FIM ENQUANTO
      FIM ENQUANTO
  FIM MÉTODO-TAREFA geracao_de_hipóteses_e_teste_por_casamento_de_padroes

```

Figura 9.3: Método para resolução da tarefa de interpretação visual de eventos geradores

O modelo de raciocínio aqui proposto é aplicado sobre um esquema de domínio, conforme representado na Figura 9.4. Este esquema representa de forma simplificada

os principais tipos de conhecimento requeridos pelo modelo. Este esquema deve conter conceitos de domínio que são *Entidades Observáveis* e que são *Eventos Interpretáveis*, associados de tal forma que seja explicitada a relação de que as Entidades Observáveis são geradas por Eventos Interpretáveis. Além disso, instâncias de *Entidade Observável* indicam a ocorrência de *Eventos Interpretáveis*, por meio de *Pacotes Visuais*.

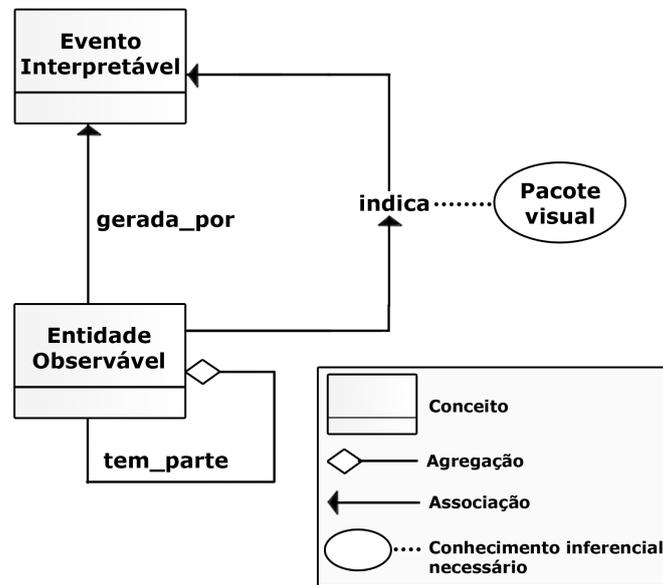


Figura 9.4: Esquema de domínio para o modelo de raciocínio para resolução da tarefa de interpretação visual de eventos geradores

## 10 APLICAÇÃO: INTERPRETAÇÃO DE PROCESSOS DE- POSICIONAIS

A abordagem para interpretação visual proposta (apresentada no capítulo 9) foi aplicada no domínio da Estratigrafia Sedimentar, para solucionar o problema da interpretação visual de processos deposicionais a partir do exame visual das fácies sedimentares resultantes da ocorrência desses processos.

Conforme apresentado no capítulo 6, as atividades da Estratigrafia Sedimentar iniciam com a captura qualificada dos dados observados. Estes dados são constituídos por descrições qualitativas de características visuais observadas nos registros rochosos encontrados. A fácies sedimentar constitui a unidade fundamental destas descrições, a partir da qual são realizadas diversas etapas de interpretações de complexidades crescentes, iniciando com a interpretação dos processos deposicionais geradores das fácies observadas. Deste modo, a qualidade das descrições realizadas nesta fase inicial impactam profundamente nas interpretações que seguem. Considerando esta sensibilidade do processo de interpretação, a aplicação desenvolvida incorpora o compromisso com o suporte para a captura qualificada dos dados estratigráficos, de maneira formal, possibilitando a mimetização computacional do processo de interpretação realizado pelos especialistas sobre estes dados, mas também enfatizando o aspecto semântico, importante para fins de comunicação e usabilidade do sistema, preservando a familiaridade do geólogo com os termos oferecidos pelo sistema para realizar as descrições. Além disso, o desenvolvimento desta aplicação constitui um passo na direção do desenvolvimento de ferramentas de auxílio a atividade de interpretação de fácies, uma vez que os corpos de rocha que os geólogos analisam cotidianamente podem chegar a centenas de metros, de modo que, eventualmente, podem ser descritos em centenas de fácies distintas. Nestes casos, a interpretação de processos deposicionais demanda um tempo considerável e, eventualmente, um esforço conjunto de diversos especialistas. Assim, esta aplicação também pode ser vista como uma primeira etapa no desenvolvimento de sistemas geológicos integrados para interpretações mais sofisticadas, como as interpretações de ambientes e sistemas deposicionais, que são realizadas a partir da interpretação dos processos geradores.

A abordagem foi implementada usando orientação a objetos e banco de dados relacional, visando a integração com um software para descrição petrográfica de rochas sedimentares já existente e em operação chamado PETROLEDGE®, como dois módulos: módulo de descrição de fácies e módulo de interpretação de fácies. Nesta implementação, tanto no modelo de dados, quanto no modelo de objetos, foi necessário representar três tipos distintos de informações: informações sobre instâncias do domínio, informações sobre a ontologia do domínio (apresentada no capítulo 8) e informações sobre os pacotes

visuais do domínio (conhecimento inferencial). No modelo de dados, estes três aspectos foram representados da seguinte forma:

**Entidades do domínio:** Há uma tabela para representar cada uma das entidades do domínio importantes para esta tarefa, que são: *CorpoDeRocha*, *FaciesSedimentar*, *EstruturaDeposicional* e *ProcessoDeposicional*. Há também tabelas adicionais para representar as relações entre Fácies Sedimentares e Estruturas Deposicionais e entre Fácies Sedimentares e Processos Deposicionais, respectivamente: *temEstruturaDeposicional* e *geradaPor*. Além disso, também foram representadas em tabelas distintas cada uma das estruturas de qualidade que representam espaços de valores para os atributos destas entidades de domínio. Os atributos dos objetos de domínio foram representados como colunas nas respectivas tabelas, podendo assumir apenas valores previstos pelas tabelas que representam suas estruturas de qualidade. As instâncias do domínio foram representadas como registros nas respectivas tabelas.

**Ontologia de domínio:** A ontologia de domínio foi representada explicitamente no banco de dados, através de tabelas que representam conceitos, atributos e relações. Estas tabelas são, respectivamente: *ConceitoOntologia*, *AtributoOntologia* e *RelacaoOntologia*. Estas tabelas também realizam um mapeamento entre os construtos utilizados para representar a ontologia, e os construtos oferecidos pelo banco de dados relacional utilizado (tabelas e colunas) para representar as instâncias do domínio. Este mapeamento é realizado através da representação explícita dos identificadores das tabelas e colunas que correspondem a conceitos, relações e atributos da ontologia. Neste sentido, a representação da ontologia envolve referência à meta-informação que descreve o esquema da banco de dados que representa as entidades de domínio.

**Pacotes visuais:** Os pacotes visuais são representados em bancos de dados, preservando a estrutura formal proposta na seção 9.1. Deste modo, as seguintes tabelas são utilizadas: *PacoteVisual*, *EventoInterpretavel*, *EntidadeObservavel*, *AtributoVisual*, *RelacaoParteDe*, *QualiaVisual*. Estas tabelas fazem referência às tabelas utilizadas para representar a ontologia de domínio, garantindo que pacotes visuais sejam construídos apenas a partir de conceitos, relações, atributos e valores de atributos previstos pela ontologia de domínio.

No modelo de objetos, os três aspectos foram representados através de três pacotes de classes distintos que são manipuladas pelo mecanismo de inferência implementado:

**Objetos do domínio:** Há uma classe para representar cada uma das entidades do domínio que são importantes para esta tarefa, que são: *CorpoDeRocha*, *FaciesSedimentar*, *EstruturaDeposicional* e *ProcessoDeposicional*. As relações e os atributos foram representadas como agregações de objetos.

**Ontologia de domínio:** A ontologia de domínio foi representada explicitamente através de um conjunto de classes que inclui: *ConceitoOntologia*, *RelacaoOntologia*, *AtributoOntologia*, *QualeOntologia*. Deste modo, a ontologia pode ser manipulada explicitamente pela aplicação. Estas classes, bem como seus relacionamentos, são representados em um diagrama no Apêndice C.

**Pacotes visuais:** Os pacotes visuais são representados através de um conjunto de classes que inclui: *PacoteVisual*, *EventoInterpretavel*, *EntidadeObservavel*, *AtributoVisual*, *RelacaoParteDe*, *QualiaVisual* e *QualeVisual*. O pacote visual constitui um grafo que é composto por nodos que são objetos destas classes. Estas classes, bem como seus relacionamentos, são representados em um diagrama no Apêndice D.

A aplicação desenvolvida oferece a possibilidade do usuário descrever fácies sedimentares em uma interface apresentada como um módulo de descrição que oferece os termos de domínio previstos pela ontologia desenvolvida (apresentada no capítulo 8). O processo de descrição envolve a informação dos valores de atributos que descrevem a fácies e a atribuição de estruturas sedimentares que compõem a fácies. As estruturas sedimentares são selecionadas pelo usuário a partir de um catálogo previamente definido de estruturas descritas. Tanto fácies sedimentares quanto estruturas sedimentares são objetos que são manipulados pela aplicação. Podem ser criados, podem ter seus atributos alterados, e podem ser carregados ou salvos no banco de dados. O módulo de descrição não constitui o escopo deste trabalho.

A ontologia explicitamente representada é utilizada pela aplicação de diversas formas, incluindo a possibilidade de realizar consultas semânticas diretamente sobre o banco de dados. Neste trabalho, ela foi utilizada na implementação do modelo de raciocínio para interpretação visual, para interpretar processos deposicionais no domínio a partir de descrições de fácies sedimentares. Desta forma, a representação da ontologia no banco de dados pode ser vista como uma camada que atribui semântica aos dados registrados nas diversas tabelas. Deste modo, os dados das instâncias do domínio podem ser manipulados de modo convencional, aproveitando todas as vantagens da utilização de bancos de dados relacionais (como a garantia de consistência), mas, ao mesmo tempo, pode-se processar estes mesmos dados de acordo com a semântica representada na ontologia.

A validação deste trabalho foi realizada através da implementação do modelo abstrato de raciocínio para interpretação visual, apresentado em 9.2, como um módulo de inferência. Este módulo utiliza a ontologia de domínio, um conjunto de pacotes visuais eliciados junto ao especialista para estabelecer as relações inferenciais entre as feições visuais observadas nas instâncias de fácies sedimentares e os processos deposicionais geradores correspondentes, e também instâncias corretamente descritas em função da ontologia de domínio. Este módulo recebe como entrada uma instância de fácies Sedimentar (um objeto da classe *FaciesSedimentar*), previamente descrita no banco de dados e carregada para ser interpretada; o nodo raiz da taxonomia de Processos Depositionais, que é parte da ontologia de domínio; e também carrega dinamicamente o conjunto de pacotes visuais que serão utilizados na tarefa de interpretação. A taxonomia de Processos Depositionais é representada na aplicação através de uma árvore de objetos da classe *ConceitoOntologia*. Deste modo, diversos conceitos que constituem a taxonomia de processos deposicionais podem ser acessados percorrendo recursivamente a árvore de objetos *ConceitoOntologia*. A saída do mecanismo de inferência é um conceito (objeto da classe *ConceitoOntologia*) que representa o tipo de processo deposicional específico responsável pela formação da fácies observada. Neste procedimento, a fácies sedimentar desempenha o papel de *EntidadeObservavel*, enquanto os processos deposicionais desempenham o papel de *EventoInterpretavel*.

O algoritmo de interpretação gera sistematicamente candidatos a partir da taxonomia de Processos Depositionais, respeitando as relações de subsunção da taxonomia. A partir de cada candidato selecionado, recupera um conjunto de pacotes visuais cujo *EventoInterpretavel* corresponde ao candidato selecionado e tenta, sistematicamente,

realizar um casamento de padrões entre os estímulos visuais dos pacotes visuais e os estímulos visuais da *EntidadeObservavel*, através de um processo de reconhecimento de padrões simbólicos. O reconhecimento de padrões simbólicos implementado pelo mecanismo confronta os padrões armazenados nos pacotes visuais com a descrição da fácies sedimentar sob análise, diretamente através de consultas ao banco de dados. Estas consultas são construídas dinamicamente durante o processo, através da recuperação da informação sobre o esquema do banco de dados, devidamente armazenada nos objetos que representam a ontologia de domínio na aplicação e que são referenciados pelos objetos que representam os pacotes visuais na aplicação. Assim, no processo de casamento de padrões, percorre-se o grafo que representa o pacote visual, construindo uma consulta que é realizada sobre o registro que representa a fácies observada, buscando os padrões visuais armazenados no pacote visual.

Na Figura 10.1 apresenta-se uma representação gráfica de um pacote visual definido no domínio. Este pacote visual interpreta uma ocorrência do evento chamado *Migração de barras longitudinais*. A entidade observável que permite esta interpretação é uma instância de *Fácies Sedimentar*. Os estímulos visuais que disparam esta interpretação específica são conjuntos de atributos visuais de fácies e de estrutura deposicional (que é parte de fácies) e valores esperados para estes atributos.

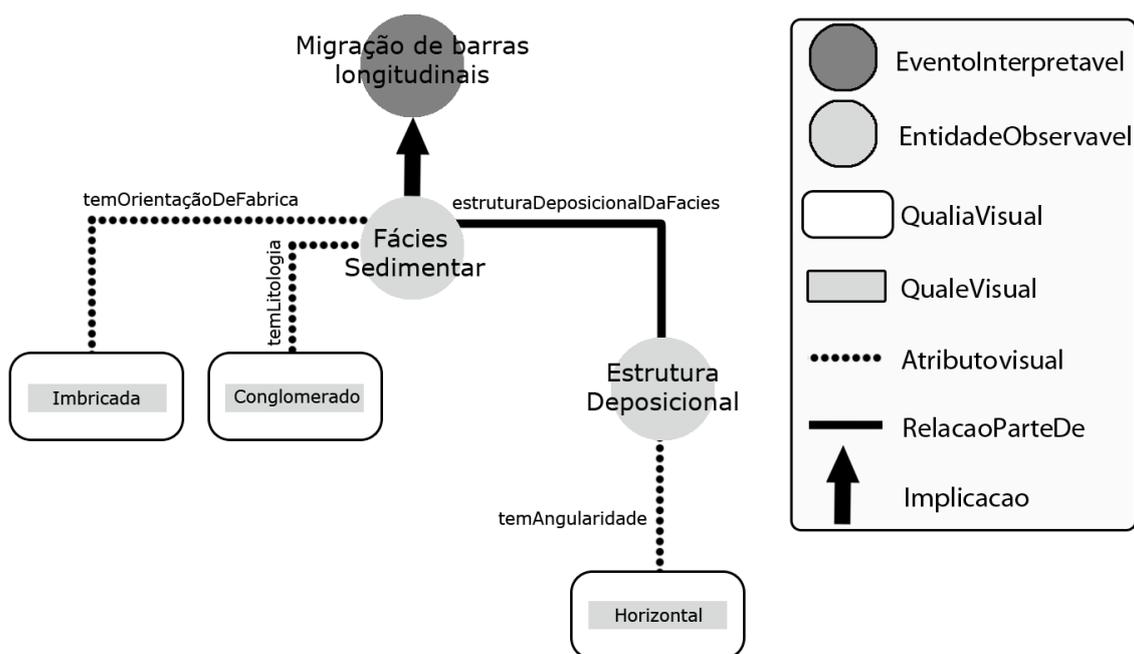


Figura 10.1: Representação gráfica de um pacote visual definido no domínio, para interpretação visual do processo de migração de barras longitudinais a partir do exame visual de fácies sedimentares

## 10.1 Validação

A abordagem foi aplicada para interpretar casos reais disponíveis na literatura. No teste de validação, foram usadas descrições de 3 corpos de rocha distintos, cada qual contendo um determinado conjunto de fácies sedimentares descritas, com 29 fácies ao todo. Neste teste, esperou-se que, para cada fácies deposicional descrita, a abordagem fosse capaz de oferecer uma interpretação do processo deposicional gerador. A avaliação

da abordagem foi realizada através da comparação das interpretações oferecidas pela abordagem proposta com as interpretações oferecidas pela literatura. A decisão de não comparar com interpretações oferecidas pelo próprio especialista teve o intuito de evitar avaliações viciadas, em que o conhecimento especialista é comparado com ele próprio. Neste sentido, este teste busca verificar a utilidade da aplicação para a comunidade do domínio, como um todo.

Para realizar o processo de validação, foi necessário realizar duas etapas anteriores: seleção de casos de validação significativos para o domínio e tradução destas descrições oferecidas pela literatura. A seleção dos casos de validação foi realizada por dois bolsistas de iniciação científica do curso de graduação em Geologia. Uma vez selecionadas, as descrições da literatura, que são realizadas em texto livre (sem uma estruturação formal padronizada), foram traduzidas para a linguagem definida pela ontologia de domínio desenvolvida. Esta tradução também foi realizada com a ajuda de dois bolsistas de iniciação científica do curso de graduação em Geologia, familiarizados com a ontologia de domínio em desenvolvimento.

Uma vez que este trabalho focou-se apenas em um sub-tipo de processo deposicional chamado *Processo deposicional de correntes trativas subaquáticas*, espera-se que o modelo de raciocínio interprete apenas fácies sedimentares que foram geradas por processos deste tipo. Para os casos em que a fácies foi gerada por processos de outros tipos, espera-se que o modelo de raciocínio interprete o processo como *Processo Depositional*, o processo mais geral (por isso pouco informativo) da taxonomia. Nesta avaliação, nós consideramos um resultado deste tipo como uma *Interpretação Inconclusiva* (uma “não resposta”).

Uma vez que o modelo de raciocínio pode oferecer respostas em diversos níveis de especificidade, espera-se também que, para alguns casos, a interpretação oferecida pelo modelo seja mais geral que a interpretação oferecida pela literatura. Assim, para avaliar a abordagem em detalhes, foram definidas categorias distintas de avaliação dos resultados possíveis. As categorias de avaliação dos resultados constituem uma hierarquia, da seguinte forma:

**Resultados Satisfatórios:** Define, de modo geral, um resultado compatível com a interpretação esperada.

**Verdadeiros negativos:** Define um resultado satisfatório, em um caso em que foi obtida uma *Interpretação Inconclusiva* e o resultado esperado não é um *processo deposicional de correntes trativas subaquáticas*.

**Verdadeiros positivos:** Define um resultado satisfatório, em um caso em que o resultado obtido é compatível com o resultado esperado.

**Correspondências específicas:** Trata-se de um verdadeiro positivo, em que o resultado obtido é a interpretação mais específica correspondente à interpretação esperada, de modo que ocorre um ajustamento perfeito, no nível mais específico da taxonomia de processos deposicionais.

**Correspondências gerais:** Trata-se de um verdadeiro positivo, em que o resultado obtido corresponde a uma generalização da interpretação esperada. Ou seja, ocorre quando a interpretação obtida diz respeito a um processo deposicional de um tipo mais geral que o tipo esperado.

**Resultados Insatisfatórios:** Define, de modo geral, um resultado incompatível com a interpretação esperada.

**Falsos negativos:** Define um resultado insatisfatório em que foi obtida uma *Interpretação Inconclusiva* em um caso em que uma interpretação específica era esperada.

**Falsos positivos:** Define um resultado insatisfatório em que foi obtida uma interpretação específica em um caso em que esperava-se uma *Interpretação Inconclusiva*, ou quando foi obtida uma interpretação específica que não correspondeu à interpretação específica esperada.

A seguir são apresentadas algumas informações gerais sobre os 3 corpos de rocha avaliados durante os testes, referenciados aqui como Caso 1, Caso 2 e Caso 3:

- Caso 1: Descrição de afloramento da bacia de Kyongsang, na Coréia do Sul. A descrição deste corpo de rocha compreende 14 fácies. Destas 14, espera-se que o sistema ofereça interpretações adequadas para 7 delas. As outras 7 fácies não foram geradas por processos de correntes trativas subaquáticas, que constituem o foco deste trabalho. Deste modo espera-se que das 14 interpretações oferecidas pelo sistemas para as fácies deste corpo de rocha, 7 sejam *verdadeiros positivos* e 7 sejam *verdadeiros negativos*.
- Caso 2: Descrição de afloramento da formação Barreiras, no estado brasileiro do Rio de Janeiro. A descrição deste corpo de rocha compreende 8 fácies. Destas 8, espera-se que o sistema ofereça interpretações adequadas para 4 delas, uma vez que as outras 4 fácies restantes não foram geradas por processos de correntes trativas subaquáticas. Deste modo espera-se que das 8 interpretações oferecidas pelo sistemas para as fácies deste corpo de rocha, 4 sejam *verdadeiros positivos* e 4 sejam *verdadeiros negativos*.
- Caso 3: Descrição de afloramento de Salt Range, no Paquistão. A descrição deste corpo de rocha compreende 7 fácies. Destas 7, espera-se que o sistema ofereça interpretações adequadas para 5 delas, uma vez que as outras 2 não foram geradas por processos de correntes trativas subaquáticas. Deste modo espera-se que das 7 interpretações oferecidas pelo sistemas para as fácies deste corpo de rocha, 5 sejam *verdadeiros positivos* e 2 sejam *verdadeiros negativos*.

O resultados obtidos no teste de validação estão representados sinteticamente na tabela 10.1. As descrições detalhadas dos casos, incluindo a descrição das fácies, bem como a interpretação oferecida pela literatura e a interpretação oferecida pelo sistema, são apresentados no Apêndice B.

Os testes de validação mostram que, para o conjunto de dados considerados, os resultados alcançados pela aplicação da abordagem propostas foram todos satisfatórios. No entanto, os resultados dos testes também demonstram que um percentual elevado (13,8%) do total de interpretações a abordagem encontrou interpretações mais gerais que as oferecidas pela literatura. Isto pode ser um problema, considerando que esta tarefa é estratégica no domínio. De qualquer forma, o especialista afirmou que mesmo estes resultados gerais são úteis, uma vez que sugerem uma interpretação a partir da qual geólogos humanos podem prosseguir. Três hipóteses podem explicar esta falta de especificidade das interpretações, em relação às oferecidas pela literatura: (a) o conjunto de pacotes visuais eliciados junto ao especialista não é suficiente para cobrir toda a variabilidade do domínio; (b) as descrições dos corpos de rocha oferecidas pela literatura não são suficientemente detalhadas para suportar as interpretações que elas oferecem;

Casos	Número de fâcies	Resultados Insatisfatórios		Resultados Satisfatórios		
		Falsos Positivos	Falsos Negativos	Verdadeiros Negativos	Verdadeiros Positivos	
					Específicos	Gerais
Caso 1	14	0%	0%	50%	35,71%	14,29%
Caso 2	8	0%	0%	50%	37,5%	12,5%
Caso 3	7	0%	0%	28,57%	57,14%	14,29%
Total	29	0%	0%	44,83%	41,38%	13,79%

Tabela 10.1: Análise dos resultados do processo de avaliação

e (c) podem ter ocorrido erros na etapa de tradução das descrições não estruturadas da literatura para suas versões estruturadas, de acordo com a ontologia de domínio em desenvolvimento. Uma análise das descrições detalhadas no Apêndice B sugere a hipótese (b) como explicação, visto que uma parcela considerável dos atributos previstos pela ontologias não tiveram seus valores explicitados nas descrições oferecidas pelos referenciais. Ou seja, o descritor das fâcies pode ter observado todos estes atributos, suportando a interpretação publicada, mas não os explicitou nas descrições. De qualquer forma, estas hipóteses devem ser investigadas em trabalhos futuros.

Outro dado que chama a atenção é o fato de que 44,8% das interpretações realizadas foram considerados *verdadeiros negativos*, ou seja, ofereceram uma *interpretação inconclusiva* ao tentar interpretar um processo deposicional que transcende o escopo dos processos considerados neste trabalho, isto é, as correntes tratativas subaquáticas. Isto sugere que ainda há muito trabalho a ser feito, no sentido de incluir na ontologias em desenvolvimento os processos deposicionais que estão sendo negligenciados, e de eliciar o conhecimento inferencial necessário para interpretá-los.

## 11 CONCLUSÃO

Em alguns domínios do conhecimento, conhecidos como *domínios imagísticos*, a informação visual é indispensável para a resolução de problemas e tomada de decisão. Para realizar estas tarefas, é fundamental que especialistas destes domínios apliquem seu *conhecimento visual*, compreendido aqui como o *conjunto de modelos mentais que suportam o processo de raciocínio sobre a informação associada ao arranjo espacial e outros aspectos visuais das entidades do domínio*. Este conhecimento visual, internalizado pelo especialista ao longo de anos de resolução de problemas reais no domínio, geralmente constitui uma porção *tácita* do conhecimento, de modo que o especialista muitas vezes o utiliza de modo inconsciente e demonstra dificuldades em externalizá-lo verbalmente, de forma articulada e explícita, em símbolos linguísticos discretos. Esta característica do conhecimento visual torna o seu tratamento computacional uma tarefa desafiadora do ponto de vista de Engenharia do Conhecimento. Este trabalho buscou superar estes desafios, assumindo como objetivo geral *delinear uma abordagem integrada para aquisição, modelagem, representação e raciocínio sobre conhecimento visual*.

Os resultados deste trabalho sugerem uma metodologia genérica para lidar com o conhecimento visual, do ponto de vista da Engenharia do Conhecimento, que poderia ser aperfeiçoada e sistematizada de um modo mais preciso em trabalhos futuros. Esta metodologia prevê o uso de abordagens adequadas para eliciar conhecimento visual, aliadas a construtos adequados para representação de conhecimento visual em estruturas para representação de conhecimento inferencial (que distinguem conhecimento descritivo visual do conhecimento interpretativo propriamente dito), combinadas com modelos de raciocínio adequados.

Este trabalho focou-se na investigação da tarefa de *interpretação visual*, compreendida neste trabalho como *o raciocínio que envolve a realização de um processo cognitivo que inicia com a percepção visual direta de características dos objetos já conhecidos no domínio, e que resulta em compreensões mais abstratas da cena observada*, tais como: comportamentos dinâmicos dos objetos da cena, significado do contexto da cena, causas ou efeitos do estado de coisas capturado pela cena, etc. Este tipo de tarefa é comum em domínios imagísticos e demanda a aplicação intensiva do conhecimento visual especialista. Para permitir a realização computacional deste tipo de tarefa de uma forma que aproxime a maneira com que os especialistas de domínios imagísticos as realizam, é necessário compreender como os especialistas processam o conhecimento visual para realizar interpretações úteis no domínio e como são as estruturas cognitivas que armazenam e organizam o conhecimento inferencial utilizado nestes procedimentos.

O principal objetivo específico deste trabalho foi, a partir do estudo realizado, propor modelos computacionais do processo de interpretação visual, bem como das estruturas para representação de conhecimento inferencial utilizadas pelos especialistas

para suportar a realização desta tarefa. A tarefa de interpretação visual foi investigada sob a perspectiva da *Engenharia do Conhecimento*. Neste sentido, o estudo focou-se em modelar o conhecimento utilizado na realização da tarefa, bem como o próprio processo de raciocínio realizado sobre este conhecimento. Além disso, o presente trabalho utilizou uma *ontologia de domínio* (apresentada no capítulo 8) para capturar e representar a conceitualização de domínio necessária para a realização da tarefa em foco. Desta forma, foi necessário explicitar na ontologia de domínio o conhecimento visual requerido por esta tarefa. Para viabilizar a explicitação deste conhecimento, neste trabalho foi proposta uma abordagem (apresentada na seção 7.1.6) para aquisição de conhecimento visual e refinamento de ontologias que envolve explorar o próprio processo de raciocínio utilizado pelo especialista como uma ferramenta para revelar a falta de termos importantes na ontologia de domínio em desenvolvimento.

A investigação realizada neste trabalho foi conduzida no domínio da *Estratigrafia Sedimentar* (apresentado no capítulo 6), uma sub-área da Geologia com notória relevância econômica e científica. Neste domínio, o foco do trabalho foi o estudo de um caso específico de tarefa de *interpretação visual*, de importância fundamental para a compreensão de formações rochosas e identificação de depósitos de recursos naturais: a *interpretação visual de processos deposicionais geradores de fácies sedimentares*.

A realização do trabalho envolveu um estudo do domínio da Estratigrafia Sedimentar para levantamento dos seus principais objetivos e tarefas, bem como para identificação das principais entidades de interesse do domínio e para a compreensão da tarefa em foco. Estes estudos foram importantes para desenvolver a ontologia de domínio proposta neste trabalho, bem como o modelo do raciocínio para resolução de tarefas de interpretação visual. Adicionalmente, neste trabalho também foram realizados estudos sobre a Epistemologia do domínio (apresentados na seção 6.2), visando a compreensão de como se dá a construção de conhecimento no domínio e quais são suas características. A compreensão destes aspectos permitiu situar melhor o problema abordado, bem como a própria abordagem aqui proposta para resolvê-lo, uma vez que possibilitou distinguir as dificuldades inerentes ao domínio das possíveis limitações da abordagem proposta. Além disso, este conhecimento levantado foi fundamental para compreender a atividade de interpretação geológica. Espera-se que os resultados destes estudos auxiliem o desenvolvimento de outras abordagens computacionais futuras para problemas deste domínio estudado.

Simultaneamente, neste trabalho também realizou-se um estudo (apresentado no capítulo 3) dos aspectos cognitivos relacionados ao raciocínio, à perícia e à percepção visual. Estes estudos foram realizados com o intuito de propor, de forma fundamentada, o modelo de estrutura para representação do conhecimento inferencial que o especialista utiliza na realização destas tarefas.

## **11.1 Principais contribuições e resultados**

A seguir, serão detalhadas as principais contribuições do presente trabalho, que podem ser compreendidos como realizações de objetivos específicos que constituem o objetivo geral deste trabalho.

### **11.1.1 Abordagem para resolução de tarefas de interpretação visual**

Ao longo da investigação foram realizados diversos encontros com o especialista, nos quais foram aplicadas diversas técnicas de aquisição de conhecimento (discutidas

no capítulo 7), resultando em um conjunto de dados a respeito do comportamento apresentado pelo especialista durante a realização da tarefa de interpretação visual em foco. Estes dados foram analisados à luz das teorias da perícia e dos aspectos cognitivos da percepção visual estudados (apresentado no capítulo 3). Com esta análise, seguida de etapas de modelagem, foi possível alcançar os dois principais resultados deste trabalho: um modelo de raciocínio para resolução de tarefas de interpretação visual (detalhado na seção 9.2) e um modelo de estrutura para representação de conhecimento inferencial utilizado para resolução destas tarefas (detalhado na seção 9.1).

Através da observação do comportamento de resolução de problemas do especialista manifestado durante as tarefas de interpretação visual no domínio e da observação do processo de formação dos geólogos, foram constatadas diversas características cognitivas que podem ser adequadamente explicadas através da *teoria do empacotamento*. Esta teoria sustenta que a *organização* e a *indexação* do conhecimento de domínio são aspectos-chave para a manifestação dos altos índices de perícia no especialistas do domínio. Enquanto para os novatos os índices de acesso ao conhecimento são propriedades simples e superficiais dos objetos, para os especialistas, tais índices são *pacotes* de estímulos sensoriais inter-relacionados que, quando reconhecidos em conjunto, permitem o acesso rápido ao conhecimento significativamente associado. Estes pacotes são o resultado do processo de empacotamento, que ocorre à medida que os estímulos perceptuais são repetidamente reconhecidos em conjunto, associados a coisas ou eventos em uma série de situações particulares. Ao longo do tempo, estes padrões de estímulos perceptuais significativamente relacionados, formam-se complexos dinâmicos que abstraem suas ocorrências particulares, e passam a desempenhar o papel de *gatilho cognitivo* para as abstrações das situações ou eventos particulares a que estavam originalmente associados. Desta forma, quando o especialista percebe os estímulos armazenados em um pacote, ele “vê” a interpretação associada ao pacote. Segundo esta teoria, é por isso que um médico experiente “vê” a ocorrência de uma patologia, observando uma radiografia; da mesma forma que um geólogo estratígrafo experiente “vê” a ocorrência de um processo deposicional, ao observar uma determinada fácies sedimentar. Desta forma, a perícia estaria fortemente conectada à percepção, e seria resultado do acúmulo de um volume substancial de abstrações de padrões sensoriais ao longo do tempo. Isto explicaria porque os especialistas identificam mais feições importantes do domínio e, geralmente, em menor tempo que um novato. Além disso, a teoria também prevê que a resolução de problemas, em estágio avançados de perícia, é guiada por um processo praticamente inconsciente de reconhecimento de padrões, de modo que os estímulos percebidos pelo especialista são casados com estímulos abstraídos e armazenados em pacotes, disparando interpretações.

Desta forma, neste trabalho foi proposto um modelo de estrutura para representação de conhecimento inferencial, chamada *Pacote Visual*, que fundamenta-se na noção cognitiva de *pacote*. O pacote visual pode ser visto como uma descrição em alto nível das estruturas cognitivas responsáveis pelos altos índices de perícia em tarefas de interpretação visual, armazenando abstrações de padrões visuais do domínio, que são construídos através do processo de empacotamento de experiência acumuladas ao longo do tempo pelos especialistas, enquanto realizam suas tarefas no domínio. Assim, esta estrutura busca descrever os conjuntos de estímulos visuais que disparam as interpretações realizadas pelos especialistas, bem como as próprias interpretações, em termos de conhecimento de domínio, isto é, determinando quais conceitos, relações, atributos e valores do domínio podem participar do pacote visual e como eles estão relacionados. Os construtos que constituem os pacotes visuais encapsulam termos

do domínio, obedecendo certas restrições ontológicas. As restrições que ditam quais termos do domínio podem participar de pacotes visuais e como estão organizados, foram definidas através de meta-propriedades previstas pela UFO. Desta forma, o Pacote Visual prevê que apenas termos do domínio que representam *Universal Substantial* podem descrever instâncias que podem ser visualmente percebidas, e que os estímulos visuais percebidos são *indivíduos de qualidade* de *universais de qualidade* que caracterizam o *Universal Substantial*. Considerando o importante papel cognitivo que as paronômias desempenham na realização de inferências que realizam percepções a interpretações abstratas, o Pacote Visual também prevê a possibilidade de que a totalidade observada possa ser composta por partes, que por sua vez, devem ser devidamente descritas por termos do domínio também classificadas como *Universal Substantial*. No caso da tarefa considerada neste domínio específico, consideramos que a interpretação deve necessariamente ser um *Evento*.

A adoção do Pacote Visual como estrutura para representação de conhecimento inferencial para tarefas de interpretação visual oferece alguns benefícios, tais como:

- Oferece fundamentação cognitiva e filosófica para estruturas para representação de conhecimento inferencial utilizadas em tarefas de interpretação visual em domínios imagísticos, em que o conhecimento inferencial eliciado do especialista relaciona estímulos visuais percebidos a interpretações abstratas no domínio.
- Uma vez que esta estrutura preserva as características cognitivas relacionadas a realização de tarefas deste tipo, sua adoção permite aproximar o conjunto dos modelos de conhecimento inferencial possíveis (considerando este tipo de tarefa), daqueles pretendidos. Esta aproximação é realizada através da incorporação das características cognitivas apresentadas no capítulo 3 na forma de restrições ontológicas sobre os conceitos de domínio que compõem a estrutura. Como consequência, o Pacote Visual captura de forma mais estreita a organização do conhecimento inferencial utilizado pelo especialista em tarefas de interpretação visual.
- Guia o processo de aquisição do conhecimento inferencial utilizado pelo especialista em tarefas de interpretação visual. O Pacote Visual estabelece que tipo de conhecimento é importante para a realização das inferências. Com isso, o engenheiro de conhecimento pode focar-se em eliciar este conhecimento específico.
- Facilita a manutenção do conhecimento inferencial em aplicações computacionais baseadas em conhecimento para domínios imagísticos, uma vez que o Pacote Visual possui uma estrutura formal conhecida e bem definida.
- O pacote visual incorpora o compromisso com a separação entre as entidades que são efetivamente percebidas visualmente e suas respectivas interpretações. Esta separação permite a construção de sistemas que aplicam conhecimento especialista para interpretação, sobre descrições de objetos de domínio realizadas por usuários não especialistas (desde que conheçam a terminologia e sejam capazes de identificar na realidade as características que elas representam).

A partir da definição do pacote visual, das observações acumuladas das situações de resolução de problemas a que o especialista foi submetido e das discussões encontradas na literatura acerca da natureza do raciocínio empregado na Estratigrafia Sedimentar,

foi elaborado um modelo do raciocínio utilizado pelos especialistas para realizar a interpretação visual de processos deposicionais. As evidências levantadas (apresentadas na sub-seção 7.2.3) sugerem que a própria tarefa de descrição das fácies incorpora um componente de interpretação ativa, referenciado neste trabalho como *componente de revisão*, que aparentemente é guiado por modelos já conhecidos pelos geólogos. Mas, além deste componente, que auxilia a revelar as características visuais relevantes da fácies, as evidências também sugerem que há um outro componente do raciocínio que permite que, a partir de uma descrição de uma fácies dada, o especialista seja capaz de realizar uma interpretação direta do seu processo deposicional gerador. Este componente foi referenciado neste trabalho como *componente de inferência direta*. Considerando este modelo geral, este trabalho focou-se no desenvolvimento de um modelo detalhado, no nível do conhecimento, do raciocínio empregado no componente de inferência direta. Este modelo de raciocínio aplica o conhecimento capturado pela ontologia de domínio, bem como o pacote visual como modelo de estrutura para representação de conhecimento inferencial. Este modelo foi implementado computacionalmente e submetido a um processo de validação no domínio da Estratigrafia Sedimentar, revelando resultados bastante satisfatórios. Apesar deste modelo ter sido gerado a partir da investigação neste domínio específico, temos como hipótese que ele pode ser aplicado em múltiplos domínios, para a resolução de múltiplos problemas de interpretação visual.

### **11.1.2 Abordagem para aquisição de conhecimento visual e refinamento de ontologias**

Assumimos como premissa neste trabalho que o conhecimento compartilhado, capturado por uma ontologia, deve servir não apenas como suporte para a comunicação da comunidade, como também para suportar os processos de raciocínio realizados para resolver os problemas no domínio. Ou seja, os termos oferecidos pela ontologia de domínio não representam conceitos que servem apenas para estruturar os discursos realizados no domínio, mas também para estruturar as inferências durante a resolução das tarefas. Métodos convencionais de eliciação de conhecimento baseados em entrevistas são eficazes em capturar o vocabulário utilizado na comunicação, porém falham em evidenciar o conhecimento que dá suporte ao raciocínio, que tem natureza parcialmente tácita. A implementação dos métodos de solução de problemas utilizados pelos especialistas para realizar a interpretação estratigráfica exige a explicitação de todo o conhecimento de domínio que sustentam os passos de inferência, de modo que torne-se necessário evidenciar a existência de objetos ocultos e feições sem nome. Com isto em mente, neste trabalho buscamos explorar o raciocínio especialista para validar a completude da ontologia capturada, no que diz respeito à sua capacidade de suportar a interpretação de processos deposicionais geradores.

Com esta motivação, foi concebida uma *abordagem para aquisição de conhecimento visual e revisão de ontologias de domínio guiada por resolução de problemas em contextos de informações limitadas* (apresentada na seção 7.1.6), que utiliza o processo de raciocínio especialista para revelar a falta de termos na ontologia de domínio, considerando a necessidade imposta pela resolução da tarefa em foco. A abordagem mostrou-se útil para evidenciar conhecimento faltante que foram posteriormente integrados à ontologia de domínio em desenvolvimento.

### 11.1.3 Outros resultados

Neste trabalho também foi realizado um refinamento (discutido na seção 7.2.4) de uma ontologia de domínio para a Estratigrafia Sedimentar, cujo desenvolvimento iniciou na etapa anterior do projeto Obaitá. Este refinamento foi realizado a partir da revelação de termos de domínio necessárias para a realização da tarefa de domínio em foco neste trabalho: a interpretação de processos deposicionais geradores de fácies sedimentares. Na tabela 11.1 apresenta-se o novo conjunto de termos de domínio, detalhando a quantidade eliciada de cada tipo de termo.

Termos	Quantidade
Conceitos	23
Relações	6
Atributos	21
Valores de atributos	62

Tabela 11.1: Novos termos da ontologia de domínio

É importante salientar que neste refinamento da ontologia foram desenvolvidas duas taxonomias inéditas no domínio: uma taxonomia de estruturas deposicionais e uma taxonomia de processos deposicionais. As taxonomias de estruturas deposicionais oferecidas pela literatura do domínio são elaboradas em função de critérios genéticos (em função das causas), o que dificulta a identificação das estruturas nesta taxonomia, comprometendo a navegabilidade da mesma. Neste trabalho foi desenvolvida uma taxonomia em função de critérios descritivos visuais, facilitando a identificação das mesmas através da comparação de características visuais. A disponibilização desta taxonomia desenvolvida sobre critérios visuais também viabiliza a construção de sistemas especialistas que permitem que usuários não especialistas descrevam visualmente os objetos do domínio, uma vez que não é exigido destes usuários o conhecimento interpretativo que os especialistas usam para referenciar as estruturas. Sistemas especialistas nestes moldes permitem manter uma captura qualificada de descrições visuais, mesmo quando operado por usuários não especialistas, desde que tenham conhecimento da terminologia descritiva e uma experiência mínima em identificação visual das características importantes do domínio. Ao mesmo tempo, estes sistemas ainda poderiam oferecer interpretações especializadas dos dados, armazenando o conhecimento especialista que é utilizado em interpretações, e aplicando este conhecimento sobre as descrições visuais realizadas.

Já as taxonomias de processos deposicionais oferecidas pela literatura são bastante incipientes, devido, principalmente à abundância de nomenclatura para representar um mesmo conceito de processo deposicional. Neste trabalho foi produzida uma taxonomia criteriosa dos processos deposicionais trativos subaquáticos. O especialista afirmou que ambas as taxonomias podem ser vistas como contribuições originais para o domínio da Estratigrafia Sedimentar.

Além disso, este trabalho também relata o resultado do estudo realizado sobre os aspectos epistemológicos da Estratigrafia Sedimentar. Estas informações podem guiar futuras abordagens ao domínio de uma forma mais fundamentada.

## 11.2 Principais dificuldades enfrentadas

A estratigrafia Sedimentar, domínio de aplicação deste trabalho, é um domínio imagético em que as tarefas são realizadas a partir da aplicação intensiva do conhecimento

visual dos especialistas. Devido a estas características do domínio, o modelo de raciocínio para resolução da tarefa de interpretação visual, o modelo de estrutura para representação de conhecimento inferencial e, principalmente, a aquisição de conhecimento visual que viabilizou o refinamento da ontologia, foram resultados de uma investigação bastante desafiadora, do ponto de vista da Engenharia do Conhecimento.

A modelagem do processo de raciocínio do especialista foi desafiadora principalmente porque este é um processo interno, que oculta-se da observação direta, envolvendo uma interação entre a percepção e a cognição de alto nível. Os resultados da ocorrência deste processo são verbalmente comunicados pelo especialista, todavia, revelou-se difícil determinar as entradas do processo, ou seja, as feições visualmente percebidas para suportar as interpretações. Este pode ser considerado o principal desafio enfrentado neste trabalho. Ainda não foi possível determinar, um modo de capturar em símbolos discretos as porções significativas da experiência visual do especialista, que ele utiliza tacitamente para suportar suas interpretações. Neste trabalho, adotou-se uma abordagem indireta para revelar uma parcela destas porções do conhecimento visual especialista e capturá-las em termos da ontologia de domínio, computacionalmente processáveis. Esta abordagem partiu de descrições não estruturadas oferecidas pela literatura e utilizou o raciocínio especialista para revelar a falta de termos necessários para suportar a resolução da tarefa, bem como para identificar, nestas descrições não estruturadas, símbolos que pudessem ser considerados novos termos de domínio que poderiam ser integrados à ontologia de domínio em desenvolvimento. No entanto, esta abordagem pressupõe a existência de descrições não estruturadas e busca identificar símbolos já utilizados nos discursos não estruturados do domínio como possíveis termos da ontologia. Desta forma, é possível que ainda existam diversas feições visuais significativas que não possuem nomes no domínio e que esta abordagem não é capaz de revelar. Assim, este trabalho ilustra a dificuldade de se lidar computacionalmente com domínios imagísticos, nos quais a própria linguagem do domínio mostra-se incompleta, uma vez que uma parcela dos fenômenos importantes do domínio não são explicitados nos discursos.

A realização do trabalho também enfrentou algumas dificuldades de ordens administrativas e operacionais, principalmente devido à dificuldade de encontrar disponibilidade de tempo na agenda do especialista. Este foi um problema subestimado na fase de planejamento do trabalho.

### **11.3 Sugestões para trabalhos futuros**

Os dois principais modelos propostos neste trabalho, o modelo de raciocínio para resolução de tarefas de interpretação visual e o modelo de estrutura para representação de conhecimento inferencial (pacote visual), foram devidamente testados no domínio da Estratigrafia Sedimentar para resolver a tarefa de interpretação visual de processos deposicionais geradores de fácies sedimentares, obtendo resultados satisfatórios. No entanto, para uma validação mais ampla, em trabalhos futuros ambos os modelos devem ser testados em outras tarefas de interpretação visual e em outros domínios, como a interpretação visual de radiografias, por exemplo.

Em relação ao modelo de raciocínio, neste domínio constatou-se a possibilidade de elicitar pacotes visuais de tal forma que o raciocínio realiza podas precisas na taxonomia de eventos interpretáveis, no sentido de que, dados os pacotes visuais e uma descrição da entidade de domínio, apenas um dos eventos de um mesmo nível taxonômico pode ser coberto. Ou seja, o conjunto de pacotes visuais neste domínio nunca cobre mais

de um evento em um mesmo nível taxonômico, de modo que o processo realiza um caminhar *top-down* direto, sem precisar descer a taxonomia por mais de um dos seus ramos. Desta forma, o resultado da interpretação é um e apenas um evento. No entanto, em domínios nos quais essa característica não se confirma, este modelo pode ser estendido. Nesta extensão, quando mais de um evento em um mesmo nível taxonômico for coberto, dados o conjunto de pacotes visuais e a Entidade Descrita, então, todos deveriam ser mantidos para a próxima iteração do processo. Desta forma, em vez de um único evento que é especializado a cada passo, teríamos uma lista deles, possibilitando que o processo percorra de forma descendente a taxonomia, considerando diversos ramos em um mesmo passo. Uma outra extensão possível do processo de raciocínio pode ser realizada incorporando abordagens de tratamento de incerteza. Atualmente o casamento de padrões simbólicos considera apenas casamentos totais de padrões, ou seja, o modelo assume que só há um casamento de padrões quando todas as características encapsuladas pela *Entidade Observável*, prevista por um dado pacote visual, são encontradas na *Entidade Descrita*. Como consequência, quando não há casamento perfeito entre as descrições encapsuladas por todos os pacotes visuais que cobrem todos os eventos de um dado nível taxonômico, o modelo retorna como interpretação um evento mais genérico (e que foi devidamente interpretado em um passo anterior). Neste sentido, futuras extensões poderiam considerar casamentos de padrões parciais, desenvolvendo e implementando uma forma de medir o grau do casamento, possibilitando a interpretação de eventos mais específicos mesmo assumindo o custo de um grau menor de certeza associado a elas.

Em relação ao pacote visual, em trabalhos futuros poderia ser investigado o papel que outras meta-classes ontológicas, como os *Relators* da UFO, poderiam desempenhar nestas estruturas. É possível que existam variações desta estrutura, que também possuam plausibilidade cognitiva, de modo que a estrutura apresentada neste trabalho poderia revelar-se apenas um caso particular de uma estrutura mais geral. Para avaliar esta possibilidade, seria necessário investigar como estas outras meta-classes ontológicas relacionam-se com a percepção visual. Outro ponto promissor seria a investigação, de modo mais aprofundado, do papel desempenhado por meta-propriedades ontológicas na resolução de tarefas e verificar o potencial de se analisar e modelar os processos de raciocínio observando as distinções ontológicas previstas por ontologias de fundamentação como a UFO.

Em relação à aquisição do conhecimento visual, trabalhos futuros poderiam investigar a aplicação de outras abordagens. Durante este trabalho, constatamos que a própria linguagem tende a ser incompleta em domínios imagísticos, de modo que há uma grande possibilidade de existirem porções da experiência visual especialista que são mobilizadas para suportar a resolução de problemas, mas que não são capturadas em símbolos discretos explícitos, isto é, não são nomeadas, de modo que não participam explicitamente dos discursos do domínio. Talvez o uso de técnicas de rastreamento ocular poderiam revelar, de modo objetivo, as porções específicas do objeto que são observadas pelos especialistas. Estas informações poderiam ser comparadas com as de outros especialistas do domínio e, então, analisadas e discutidas. Este procedimento poderia auxiliar a revelar feições comuns nos objetos de domínio, que são observadas, mas que não são verbalmente referenciadas.

Este trabalho também deixa em aberto possíveis extensões e refinamentos dos modelos de conhecimento de domínio. Neste trabalho, focou-se em um tipo específico de processo deposicional e em um tipo específico de estrutura sedimentar, de modo que as taxonomias de processos deposicionais e estruturas sedimentares desenvolvidos

e apresentados constituem apenas uma parcela das taxonomias mais gerais destes objetos de domínio. Em trabalhos futuros estas taxonomias podem ser ampliadas, para contemplar ramos que foram negligenciados pelo escopo definido neste trabalho. Ainda, do ponto de vista de contribuições para o domínio considerado, trabalhos futuros poderiam ser realizados no sentido de ampliar o modelo de estrutura para representação de conhecimento inferencial definido neste trabalho, isto é, na eliciação e possível refinamento do conjunto de pacotes visuais já eliciados. Com a ampliação das taxonomias de processos deposicionais e estruturas sedimentares, poderiam ser eliciados novos conjuntos de pacotes visuais para interpretar tipos de processos deposicionais ainda não considerados até o momento. Nos testes realizados no domínio, constatou-se um percentual elevado de interpretações mais gerais. Uma das hipóteses para explicar este fato é a de que o conjunto de pacotes visuais já obtido precisa ser refinado com informações visuais mais específicas. Neste sentido, novos trabalhos poderiam verificar esta hipótese e, caso confirmada, focar-se em refinar o conjunto de pacotes visuais já existentes, para garantir ainda mais qualidade nas interpretações realizadas.

## REFERÊNCIAS

ABEL, M. **Estudo da Perícia em Petrografia Sedimentar e sua Importância para a Engenharia do Conhecimento**. 2001. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Universidade do Rio Grande do Sul (UFRGS).

ABEL, M.; CASTILHO, J. M. V.; CAMPBELL, J. Analysis of expertise for implementing geological expert systems. In: WORLD CONFERENCE IN EXPERT SYSTEMS, 1998, New York. **Anais...** Cognizant Communication Offices, 1998. v.1, p.170–177.

ANGELES, P. A. **Dictionary of Philosophy**. [S.l.]: Barnes & Noble Books, 1981.

AUDI, R. **The Cambridge Dictionary of Philosophy (Second Edition)**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1999.

BAIÔCO, G. et al. IT Service Management and Governance: modeling an itsm configuration process: a foundational ontology approach. In: IFIP/IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED NETWORK MANAGEMENT-WORKSHOPS 2009, 2009. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2009.

BAIÔCO, G.; GARCIA, A. S. Implementation and application of a well-founded configuration management ontology. In: IEEE NETWORK OPERATIONS AND MANAGEMENT SYMPOSIUM WORKSHOPS (NOMS WKSPS) 2010, 2010. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2010.

BAKER, V. R. Geosemiosis. **Bulletin of the Geological Society of America**, [S.l.], v.111, p.633–645, 1999.

BARBEY, A. K.; BARSALOU, L. W. Encyclopedia of Neuroscience, Vol. 8. In: SQUIRE, L. (Ed.). **Reasoning and Problem Solving: models**. [S.l.]: Oxford: Academic Press., 2009. p.35–43.

BENEVIDES, A. B. et al. Assessing Modal Aspects of OntoUML Conceptual Models in Alloy. In: ER 2009 WORKSHOPS (COMOL, ETHECOM, FP-UML, MOST-ONISW, QOIS, RIGIM, SECOGIS) ON ADVANCES IN CONCEPTUAL MODELING - CHALLENGING PERSPECTIVES, 2009, Berlin, Heidelberg. **Proceedings...** Springer-Verlag, 2009. p.55–64. (ER '09).

BONACETO, C.; BURNS, K. A survey of the methods and uses of cognitive engineering. In: EXPERTISE OUT OF CONTEXT: PROCEEDINGS OF THE SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NATURALISTIC DECISION MAKING, 2007. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2007. p.29–75.

BORST, W. N. **Construction of Engineering Ontologies for knowledge sharing and reuse**. 1997. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — University of Twente, Enschede, The Netherlands.

BRAINE, M. D. et al. Predicting Intermediate and Multiple Conclusions in Propositional Logic Inference Problems: further evidence for a mental logic. **Journal of Experimental Psychology: General**, [S.l.], v.124, n.3, p.263–292, September 1995.

BULLOT, N. J. Object files, anchoring, sortals and the problem of singular perception. In: THE 28TH ANNUAL CONFERENCE OF THE COGNITIVE SCIENCE SOCIETY, 2006. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2006.

CASTRO, M. R. d.; PERINOTTO, J. A. d. J.; CASTRO, J. C. d. Fácies, análise estratigráfica e evolução pós-glacial do membro Triunfo/Formação Rio Bonito, na faixa subaflorante do norte catarinense. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], v.29, n.4, p.533–538, 1999.

CHASE, W. G.; SIMON, H. A. Perception in chess. **Cognitive Psychology**, [S.l.], v.4, n.1, p.55–81, 1973.

CHASSY, P.; GOBET, F. A Hypothesis About the Biological Basis of Expert Intuition. **Review of General Psychology**, [S.l.], v.15, p.198–212, 2011.

COLLINSON, J. Depositional Sedimentary Structures. In: SELLEY, R. C.; COCKS, R.; PLIMER, I. (Ed.). **Encyclopedia of Geology**. [S.l.]: Elsevier, 2005. p.593–599.

COOKE, N. J. Modeling human expertise in expert systems. In: HOFFMAN, R. R. (Ed.). **The psychology of expertise: cognitive research and empirical ai**. New York, NY, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 1992. p.29–60.

DOTT, R. What is unique about geological reasoning. **GSA Today**, [S.l.], 1998.

EVANS, J. S. B. T. Dual-processing accounts of reasoning, judgment and social cognition. **Annual Review of Psychology**, [S.l.], v.59, p.255–278, 2008.

EVANS, J. S. T. The heuristic-analytic theory of reasoning: extension and evaluation. **Psychonomic Bulletin & Review**, [S.l.], v.13, n.3, p.378–395, June 2006.

FÁVERA, J. C. D. **Fundamentos de Estratigrafia Moderna**. [S.l.]: EdUERJ, 2001.

FELDMAN, J. What is a visual object? **Trends in Cognitive Sciences**, [S.l.], v.7, p.252–256, 2003.

FENSEL, D. et al. On-To-Knowledge:ontology-based tools for knowledge management. In: PROCEEDINGS OF THE EBUSINESS AND EWORK 2000 (EMMSEC 2000) CONFERENCE, 2000. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2000.

FIORINI, S. R. **S-Chart: um arcabouço para interpretação visual de gráficos**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FIORINI, S. R.; ABEL, M.; SCHERER, C. M. S. Semantic image interpretation of gamma ray profiles in petroleum exploration. **Expert Syst. Appl.**, Tarrytown, NY, USA, v.38, p.3724–3734, April 2011.

FRODEMAN, R. Geological reasoning: geology as an interpretive and historical science. **Geological Society of America Bulletin**, [S.l.], v.107, p.960–968, 1995.

GIARRATANO, J. C.; RILEY, G. D. **Expert Systems: principles and programming**, fourth edition. [S.l.]: Course Technology, 2004.

GOBET, F. Expert memory: a comparison of four theories. **Cognition**, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA, v.66, n.2, p.115–152, May 1998.

GOBET, F. Concepts without intuition lose the game: commentary on montero and evans (2011). **Phenomenology and the Cognitive Sciences**, [S.l.], v.10, p.1–14, 2011.

GOBET, F.; CHASSY, P. Expertise and Intuition: a tale of three theories. **Minds and Machines**, [S.l.], v.19, p.151–180, 2009.

GOBET, F. et al. Chunking mechanisms in human learning. **Trends in Cognitive Sciences**, [S.l.], v.5, p.236–243, 2001.

GOBET, F.; LANE, P. C. The CHREST architecture of cognition: the role of perception in general intelligence. In: **ARTIFICIAL GENERAL INTELLIGENCE 2010, 2010. Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2010.

GOBET, F.; SIMON, H. A. Pattern Recognition Makes Search Possible: comments on holding (1992). **Psychological Research**, [S.l.], v.61, p.204–208, 1998.

GÓMES-PÉREZ, A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M.; CORCHO, O. **Ontological Engineering: with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the semantic web**. Londres. Londres: Springer., 2004. 403p.

GONÇALVES, B.; GUIZZARDI, G.; FILHO, J. G. P. An Electrocardiogram (ECG) Domain Ontology. In: **WORKSHOP ON ONTOLOGIES AND METAMODELS FOR SOFTWARE AND DATA ENGINEERING, 2., 2007, João Pessoa, Brazil. Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2007.

GROOT, A. D. de; GOBET, F. **Perception and memory in chess: heuristics of the professional eye**. Assen: Van Gorcum, 1996.

GROOT, A. de. **Het denken van den schaker**. [S.l.]: Noord Hollandsche, 1946.

GROVER, M. D. A pragmatic knowledge acquisition methodology. In: **EIGHTH INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE - VOLUME 1, 1983, San Francisco, CA, USA. Proceedings...** Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1983. p.436–438.

GRUBER, T. R. A translation approach to portable ontology specifications. **Knowledge Acquisition**, [S.l.], v.5, p.199–220, 1993.

GUARINO, N. Formal Ontology and Information Systems. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON FORMAL ONTOLOGY AND INFORMATION SYSTEMS (FOIS), 1998, Trento, Italy. Proceedings...** IOS Press, 1998. p.3–15.

GUIZZARDI, G. **Ontological Foundations for Structural Conceptual Models**. Enschede, The Netherlands: Universal Press, 2005. 410p. (CTIT PhD Thesis Series, v.05-74).

GUIZZARDI, G. Agent roles, qua individuals and the counting problem. In: GIORGINI, P. et al. (Ed.). **Software Engineering of Multi-Agent Systems**. [S.l.]: Springer-Verlag, 2006.

GUIZZARDI, G. On Ontology, ontologies, Conceptualizations, Modeling Languages and (Meta)Models. In: VASILECAS, O.; EDLER, J.; CAPLINSKAS, A. (Ed.). **Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Databases and Information Systems IV**. Amsterdam: IOS Press, 2007.

GUIZZARDI, G.; FALBO, R. D. A.; GUIZZARDI, R. S. S. Grounding Software Domain Ontologies in the Unified Foundational Ontology (UFO): the case of the ode software process ontology. In: INTERNATIONAL DATABASE ENGINEERING AND APPLICATION SYMPOSIUM, 2008. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2008. p.127–140.

GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. Some Applications of a Unified Foundational Ontology in Business Modeling. In: ROSEMANN, M.; GREEN, P. (Ed.). **Ontologies and Business Systems Analysis**. [S.l.]: IDEA Publisher, 2005. p.345–367.

GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. Using the Unified Foundational Ontology (UFO) as a Foundation for General Conceptual Modeling Languages. In: POLI, R. et al. (Ed.). **Theory and Application of Ontologies**. [S.l.]: Springer-Verlag, 2010.

GUIZZARDI, R. S. **Agent-oriented Constructivist Knowledge Management**. 2006. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — University of Twente, The Netherlands.

GUIZZARDI, R. S. S. et al. Towards an Ontological Account of Agent-Oriented Goals. In: CHOREN, R. et al. (Ed.). **Software Engineering for Multi-Agent Systems V: research issues and practical applications**. [S.l.]: Springer-Verlag, 2007. p.148–164. (Lecture notes in computer science, v.5).

GUIZZARDI, R. S. S.; GUIZZARDI, G. Applying the UFO ontology to design an agent-oriented engineering language. In: EAST-EUROPEAN CONFERENCE ON ADVANCES IN DATABASES AND INFORMATION SYSTEMS (ADBIS 2010), 14., 2010. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2010.

HARNAD, S. The symbol grounding problem. **Physica D**, Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v.42, p.335–346, June 1990.

HAYES, P. J. The Naïve Physics Manifesto. In: RITCHIE, D. (Ed.). **Expert Systems in Microelectronics age**. [S.l.]: Edinburgh University Press, 1978. p.242–270.

HAYES, P. J. Naive physics I: ontology for liquids. In: HOBBS, J. R.; MOORE, R. C. (Ed.). **Formal theories of the common sense world**. [S.l.]: Ablex Pub, 1985. p.71–107. (Ablex Series in Artificial Intelligence).

HEYER, D.; MAUSFELD, R. **Perception and the physical world** : psychological and philosophical issues in perception. [S.l.]: John Wiley & sons, LTD, 2002.

HILDRETH, E. C.; ULLMAN, S. The computational study of vision. In: POSNER, M. I. (Ed.). **Foundations of cognitive science**. [S.l.]: The MIT Press, 1989. p.581–630.

HOFFMAN, R. R. The Problem of Extracting the Knowledge of Experts from the Perspective of Experimental Psychology. **AI Magazine**, [S.l.], v.8, n.2, p.53–67, 1987.

HOFFMAN, R. R.; LINTERN, G. Eliciting and Representing the Knowledge of Experts. In: ERICSSON, K. A. et al. (Ed.). **Cambridge handbook of expertise and expert performance**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2006. p.203–222.

HUDELOT, C. **Towards a Cognitive Vision Platform for Semantic Image Interpretation; Application to the Recognition of Biological Organisms**. 2005. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Université de Nice Sophia Anipolis.

HUDELOT, C.; MAILLOT, N.; THONNAT, M. Symbol grounding for semantic image interpretation : from image data to semantics. In: WORKSHOP ON SEMANTIC KNOWLEDGE IN COMPUTER VISION, ICCV, 2005. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2005.

HUDELOT, C.; THONNAT, M. A Cognitive Vision Platform for Automatic Recognition of Natural Complex Objects. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON TOOLS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 2003., 15., 2003. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2003.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Deductive reasoning. **Annual review of psychology**, [S.l.], v.50, p.109–135, 1999.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental models and deduction. **Trends in Cognitive Sciences**, [S.l.], v.5, n.10, p.434–442, 2001.

KIRWIN, C. Reasoning. In: HONDERICH, T. (Ed.). **The Oxford Companion to Philosophy**. [S.l.]: Oxford University Press, 1995. p.748–749.

LIU, Y. I. Knowledge acquisition: issues, techniques, and methodology. In: ACM SIGBDP CONFERENCE ON TRENDS AND DIRECTIONS IN EXPERT SYSTEMS, 1990., 1990, New York, NY, USA. **Proceedings...** ACM, 1990. p.212–236. (SIGBDP '90).

LORENZATTI, A. **Ontologia para Domínios Imagísticos: combinando primitivas textuais e pictóricas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

LORENZATTI, A. et al. Ontological primitives for visual knowledge. In: BRAZILIAN CONFERENCE ON ADVANCES IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 20., 2010, Berlin, Heidelberg. **Proceedings...** Springer-Verlag, 2010. p.1–10. (SBIA'10).

MASTELLA, L. S. **Um modelod e conhecimento baseado em eventos para aquisição e representação de seqüências temporais**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MASTELLA, L. S. et al. Cognitive modelling of event ordering reasoning in imagistic domains. In: ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 19., 2005, Edinburgh, UK. **Proceedings...** Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2005. p.528–533.

MEALY, G. H. Another Look at Data. In: FALL JOINT COMPUTER CONFERENCE (AFIPS CONFERENCE PROCEEDINGS), 1967. **Proceedings...** Thompson Books, 1967. v.31, p.525–534.

MILTON, N.; CLARKE, D.; SHADBOLT, N. Knowledge engineering and psychology: towards a closer relationship. **International Journal of Human-Computer Studies**, [S.l.], v.64, p.1214–1229, 2006.

MOKHTARZADE, M.; ZOEJ, M. V. Road detection from high-resolution satellite images using artificial neural networks. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [S.l.], v. Volume 9, p.32–40, 2007.

NECHES, R. et al. Enabling technology for knowledge sharing. **AI Magazine**, [S.l.], v.12, n.3, p.16–36, 1991.

OGIELA, M. R.; TADEUSIEWICZ, R. Artificial intelligence structural imaging techniques in visual pattern analysis and medical data understanding. **Pattern Recognition**, [S.l.], v.36, n.10, p.2441–2452, 2003.

OVER, D. Rationality and the Normative/Descriptive Distinction. In: DEREK J. KOEHLER, N. H. (Ed.). **Blackwell Handbook of Judgment and Decision Making**. [S.l.]: Blackwell Publishing Ltd, 2004. p.3–18.

PARAIZO, P. L. B. **A construção do conhecimento nas ciências geológicas: contribuições do pensamento de gaston bachelard**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

PEIRCE, C. S. **Semiótica e Filosofia: textos escolhidos de charles sanders peirce**. [S.l.]: Cultrix, 1972.

PEISSIG, J.; TARR, M. J. Visual Object Recognition: do we know more now than we did 20 years ago? **Annual Review of Psychology**, [S.l.], v.58, p.75–96, 2007.

POLANYI, M. **The tacit dimension**. New York: Anchor Day Books, 1966.

PRESS, F. et al. **Para entender aTerra. 4.ed.** [S.l.]: Bookman,, 2004.

PROTHERO, D. R. **Interpreting the Stratigraphic Record**. New York: W.H. Freeman and Company, 1991. 410p.

ROBERT, S. Categorization, reasoning, and memory from a neo-logical point of view. In: COHEN, H. (Ed.). **Handbook of Categorization in Cognitive Science**. [S.l.]: Elsevier, 2006. p.699–717.

RUSSELL, B. **The Problems of Philosophy**. 2 Sub.ed. [S.l.]: Oxford University Press, USA, 1997.

SANTIN, C. E. **Construtos ontológicos para representação simbólica de conhecimento visual**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SCHREIBER, G. et al. **Knowledge Engineering and Management: the commonkads methodology**. 2nd ed..ed. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1999.

SCHURZ, G. Patterns of abduction. **Synthese**, [S.l.], v.164, n.2, p.201–234, September 2008.

SPELKE, E. S. Principles of Object Perception. **Cognitive Science**, [S.l.], v.14, n.1, p.29–56, 1990.

STANOVICH, K. E. Discrepancies Between Normative and Descriptive Models of Decision Making and the Understanding/Acceptance Principle. **Cognitive Psychology**, [S.l.], v.38, p.349–385, 1999.

STERNBERG, R. J. Cognitive conceptions of expertise. In: FELTOVICH, P. J.; FORD, K. M.; HOFFMAN, R. R. (Ed.). **Expertise in context**. Menlo Park, California: AAAI/MIT Press, 1997. p.149–162.

STUDER, R.; BENJAMINS, V. R.; FENSEL, D. Knowledge Engineering: principles and methods. **Data and Knowledge Engineering**, [S.l.], v.25, n.1-2, p.161–197, March 1998.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Edgar Bücher LTDA, 2003. 400p.

THAGARD, P. From the Descriptive to the Normative in Psychology and Logic. **Philosophy of Science**, [S.l.], v.49, n.1, p.24–42, 1982.

TURBAN, E.; FRENZEL, L. E. **Expert Systems and Applied Artificial Intelligence**. [S.l.]: Prentice Hall Professional Technical Reference, 1992.

TVERSKY, B. Objects, parts, and categories. **Journal of Experimental Psychology: General**, [S.l.], v.113, p.169–193, 1985.

TVERSKY, B. Parts, Partonomies, and Taxonomies. **Developmental Psychology**, [S.l.], v.25, p.983–995, 1989.

WALTON, D. N. What is Reasoning? What Is an Argument? **The Journal of Philosophy**, [S.l.], v.87, n.8, p.399–419, Agosto 1990.

WITHAGEN, P. J. **Object detection and segmentation for visual surveillance**. 2005. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Universiteit van Amsterdam.

WU, Y.; AI, X. Face Detection in Color Images Using AdaBoost Algorithm Based on Skin Color Information. **International Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining**, Los Alamitos, CA, USA, v.0, p.339–342, 2008.

XU, F.; CAREY, S. Infant's Metaphysics: the case of numerical identit. **Cognitive Psychology**, [S.l.], v.30, p.111–153, 1996.

YIP, K.; ZHAO, F. Spatial Aggregation: theory and applications. **Journal of Artificial Intelligence Research**, [S.l.], v.5, p.1–26, 1996.

# APÊNDICE A APLICAÇÃO DA ABORDAGEM DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO VISUAL E REFINAMENTO DE ONTOLOGIAS

Nesta sessão será detalhada a última sessão de aplicação desta ferramenta proposta. Para isso, serão detalhados os recursos necessários para a sua utilização, o procedimento utilizado e os resultados obtidos nesta sessão específica.

## A.1 Material e método utilizado

Para suportar a aplicação da ferramenta foram coletadas descrições de fácies publicadas em referências bibliográficas sobre análise faciológica de afloramentos. Foram selecionadas 7 referências bibliográficas da literatura, cada uma compreendendo o estudo de determinado afloramento, apresentando a descrição das fácies observadas e a interpretação das mesmas em termos de processos deposicionais geradores. Deste conjunto de referências, foram selecionadas duas, por apresentarem um maior grau de detalhamento das descrições. A partir das duas referências foi possível extrair dois conjuntos de descrições de fácies: conjunto de descrições do afloramento 1 (CDA1) e conjunto de descrições do afloramento 2 (CDA2). O primeiro conjunto compreende 13 descrições de fácies, enquanto o segundo conjunto compreende 12 descrições de fácies. Cada um dos conjuntos de descrições de fácies foram então ajustados à ontologia de estratigrafia sedimentar que está sendo construída ao longo do projeto Obaitá. Este ajuste foi realizado na medida do possível, com a ajuda de um bolsista de iniciação científica em Geologia, uma vez que a literatura do domínio apresenta heterogeneidade na estrutura de descrição de fácies, utilizando termos distintos que fazem referência ao mesmo conceito/relação/propriedade, ou aglutinando diferentes conceitos/relações/propriedades sob um mesmo termo geral. Não foi possível ajustar algumas das informações utilizadas na descrições à ontologia, de modo que estas informações adicionais foram aglutinadas e rotuladas como *observações adicionais*, de um modo não estruturado (como são apresentadas na literatura). Cabe salientar também que, comparativamente, em relação a nossa ontologia, ambos os conjuntos de descrições não fizeram uso de todos os atributos descritivos de fácies de previstos. Em vez disso, cada conjunto de descrições fez uso de um determinado sub-conjunto específico do conjunto total de atributos descritivos previstos na ontologia. Ou seja, neste ponto também ficou evidente a falta de um padrão de descrição no domínio. Segue, abaixo a lista de atributos utilizados em cada um destes conjuntos de descrições.

**CDA1:** Litologia, granulometria (menor e maior tamanho de grão), seleção, arredon-

damento, esfericidade, geometria, paleocorrente, espessura da camada, estruturas, grau de bioturbação, interpretação (processo deposicional) e observações adicionais.

**CDA2:** Seleção, arredondamento, suporte de fábrica, orientação de fábrica, cor, espessura da camada, estruturas, interpretação (processo deposicional) e observações adicionais.

Cada um destes conjuntos de descrições foi submetido à interpretação do especialista. O especialista foi informado de que ambos os conjuntos de descrições refletiam descrições de afloramento reais, publicados na literatura do domínio. Cada um dos conjuntos de descrições foi apresentado separadamente, em formato de uma tabela, onde cada linha  $i$  representava uma fácies, cada coluna  $j$  representava um atributo, de modo que cada célula  $ij$  representava o valor que atributo  $j$  assumia na fácies  $i$ . É importante deixar claro que não é o caso de todas as fácies terem valores atribuídos a todos os atributos. Ou seja, algumas células da tabela permaneceram vazias, indicando que o geólogo não informou um valor para o atributo correspondente àquela coluna. Cabe salientar também que as colunas *interpretação* e *observações adicionais* não foram apresentadas ao especialista em um primeiro momento. A coluna *interpretação* foi retirada para não influenciar a interpretação do especialista e para atuar como um referencial comparativo em uma etapa posterior. A coluna *observações adicionais* foi retirada porque as informações aglutinadas sob este rótulo não puderam ser descritas na ontologia em desenvolvimento, constituindo, desta forma, conhecimento ainda não estruturado e devidamente incorporado à ontologia. Em um segundo momento, após o especialista ter oferecido suas interpretações, ambas as colunas, *observações adicionais* e *interpretação*, foram apresentadas a ele.

Em uma etapa posterior, depois do especialista fornecer interpretações para cada uma das descrições de fácies de cada um dos conjuntos, foi solicitado que ele comparasse as suas próprias interpretações com aquelas oferecidas pelas referências bibliográficas e sugerisse explicações para eventuais disparidades identificadas. Também foi solicitado que ele verificasse se a falta das informações contidas nas *observações adicionais* poderia, se não explicar a disparidade das interpretações, ao menos auxiliar para alcançar uma interpretação mais precisa.

## A.2 Resultados obtidos

### A.2.1 Conjunto de descrições do afloramento 1 - CDA1

Das 13 descrições de fácies, ocorreram 7 correspondências exatas entre a interpretação do especialista e a interpretação oferecida pela referência bibliográfica. Assim, foram encontradas aparentes disparidades em 6 interpretações. Para 3 destas, o especialista explicou que ele apontou o nome específico do processo formador, enquanto o autor da descrição optou por oferecer uma descrição geral do processo. Neste sentido, o especialista concluiu que estas interpretações aparentemente díspares são, na verdade, equivalentes. Para as outras 3 fácies em que foram encontradas disparidades, o especialista afirmou que o autor não foi preciso o suficiente em sua descrição, ou que as descrições incorporam erros. Em dois destes casos, a descrição da fácies não informava a estrutura visualizada na fácies. A falta da informação sobre a estrutura explica a disparidade, uma vez que, segundo o especialista, a *estrutura é um atributo imprescindível para a interpretação*. Neste sentido, ocorreram 10 correspondências, totalizando 77%, e 3 casos em que a correspondência não foi verificada, totalizando 23%.

### **A.2.2 Conjunto de descrições do afloramento 2 - CDA2**

Das 12 descrições de fácies, apenas uma interpretação do especialista correspondeu exatamente com a oferecida pela referência bibliográfica. Esta correspondência ocorreu para uma fácies pobremente descrita e para a qual o autor afirmou não ter sido possível interpretar o processo deposicional. O especialista chegou à mesma conclusão, a partir dos poucos atributos informados. Para 10 das 11 descrições restantes, o especialista explicou que, novamente, optou por oferecer o nome específico do processo enquanto o autor ofereceu uma descrição mais geral, enumerando características do processo. Na descrição restante, o autor não foi capaz de oferecer uma interpretação, enquanto o especialista o foi. Neste sentido, ocorreram 11 correspondências, totalizando 92%, e 1 caso em que a correspondência não foi verificada, totalizando 8%.

### **A.3 Discussão dos resultados**

A realização deste experimento sugere que a ontologia, no estado de desenvolvimento em que foi avaliada, possibilita a construção de modelos de conhecimento ricos e precisos o suficiente para suportar a interpretação de processos deposicionais pelo especialista, com uma qualidade de interpretação pelo menos equivalente à das interpretações do geólogo que observou a fácies real (e o conjunto integral de informações que se pode extrair dela).

Os resultados também sugerem que a realização computacional deste processo de interpretação, sobre modelos gerados a partir desta ontologia, é possível, desde que o conhecimento inferencial do especialista seja capturado de forma adequada. Além disso, ficou evidente a importância da informação sobre a Estrutura Sedimentar para suportar a interpretação.

## **APÊNDICE B CASOS DE VALIDAÇÃO**

As Figuras B.1, B.2 e B.3 apresentam, respectivamente, as descrições detalhadas das fácies que constituem os corpos de rocha referenciados como caso 1, caso 2 e caso 3 nos testes de validação. Nestas figuras “N.I.” significa *não informado*, indicando que o valor de um atributo descritivo não foi informado pelo referencial analisado.

**Afloramento da bacia de Kyongsang – Coreia do Sul**

Menor tamanho de grão	Maior tamanho de grão	Tamanho de grão da base	Tamanho de grão do topo	Moda 1	Moda 2	Moda 3	Seleção	Esféricida de	Arredonda mento	Geometria Lenticular	Litologia	Orientação da fábrica	Gradação da camada	Gradação laminar	Ocorrência de grãos específicos	Estruturas deposicionais	Suporte de fábrica	Interpretação do sistema	Interpretação do referencial
Argila	Seixo	N.I.	N.I.	Seixo	Areia média	Areia média	Muito mal selecionado	N.I.	N.I.	topo convexa base plana	Conglome rado	Sub-paralela	N.I.	Inexistente	Intraclastos de lama	Estratificação cruzada acanalada	Supportado pelos grãos	Preenchimento de pequenos canais	Preenchimento de pequenos canais
Argila	Seixo	N.I.	N.I.	Seixo	Areia média	Areia média	Muito mal selecionado	N.I.	N.I.	N.I.	Conglome rado	Homogénea	normal	N.I.	Intraclastos de lama	Estratificação cruzada acanalada	Supportado pelos grãos e pela matriz	Preenchimento de pequenos canais	Processo deposicional que não é de correntes
Argila	Seixo	N.I.	N.I.	Areia média	Areia muito grossa	Areia muito grossa	Muito mal selecionado	N.I.	N.I.	Irregular	Arenito	N.I.	N.I.	N.I.	Intraclastos de lama	N.I.	Supportado pela matriz	Processo deposicional	Processo deposicional que não é de correntes
Areia média	Seixo	N.I.	N.I.	Areia média	Areia muito grossa	Areia muito grossa	Mal selecionado	N.I.	N.I.	N.I.	Arenito	Paralela	N.I.	N.I.	Intraclastos de lama	Estratificação cruzada acanalada	Supportado pela matriz	Migração de dunas 3D	Migração de dunas 3D
Areia média	Areia grossa	N.I.	N.I.	Areia média	Areia muito grossa	Areia muito grossa	Mal selecionado	N.I.	N.I.	N.I.	Arenito	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Estratificação cruzada planar	Supportado pela matriz	Migração de dunas 2D	Migração de dunas 2D
Areia média	Seixo	N.I.	N.I.	Areia média	Areia muito grossa	Areia muito grossa	Mal selecionado	N.I.	N.I.	N.I.	Arenito	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Estratificação plano-paralela	Supportado pela matriz	Migração de formas de leito planos	Migração de formas de leito planos
Areia muito fina	Areia grossa	N.I.	N.I.	Areia muito fina	Areia grossa	Areia grossa	Moderadamente selecionado	N.I.	N.I.	N.I.	Arenito	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Supportado pela matriz	Correntes Tratativas	Correntes Tratativas
Areia muito fina	Areia média	N.I.	N.I.	Areia muito fina	Areia média	Areia média	Moderadamente selecionado	N.I.	N.I.	N.I.	Arenito	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Laminação cruzada com marcas onduladas	Supportado pela matriz	Correntes Tratativas	Migração de ripples subaquosas
Siltite	Siltite	N.I.	N.I.	Siltite	N.I.	N.I.	Bem selecionado	N.I.	N.I.	N.I.	Siltito	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Supportado pela matriz	Processo deposicional	Processo que não é de correntes tratativas
Siltite	Areia fina	N.I.	N.I.	Siltite	N.I.	N.I.	Bem selecionado	N.I.	N.I.	N.I.	Siltito	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Supportado pela matriz	Processo deposicional	Processo que não é de correntes tratativas
Argila	Areia fina	N.I.	N.I.	Argila	Siltite	Areia fina	Moderadamente selecionado	N.I.	N.I.	N.I.	Pelito	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Supportado pela matriz	Processo deposicional	Processo que não é de correntes tratativas
Argila	Areia muito fina	N.I.	N.I.	Areia muito fina	N.I.	N.I.	Moderadamente selecionado	N.I.	N.I.	N.I.	Arenito	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Supportado pela matriz	Processo deposicional	Processo que não é de correntes tratativas
N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Processo deposicional	Processo que não é de correntes tratativas
N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Processo deposicional	Processo que não é de correntes tratativas

**Verdadeiro positivo, com correspondência específica**  
 **Verdadeiro positivo, com correspondência geral**  
 **Verdadeiro negativo**

Figura B.1: Caso 1: Descrição detalhada de afloramento da bacia de Kyongsang, na Coreia do Sul. Cada fácies está associada às interpretações correspondentes, oferecidas pela literatura e pelo sistema.

Afloramento da formação Barreiras, no estado brasileiro do Rio de Janeiro																			
Menor tamanho de grão	Maior tamanho de grão	Tamanho de grão da base	Tamanho de grão do topo	Moda 1	Moda 2	Moda 3	Seleção	Esféricidade	Arredondamento	Geometria	Litologia	Orientação de fábrica	Gradação da camada	Gradação laminar	Ocorrência de grãos específicos	Estruturas sedimentares	Suporte de fábrica	Interpretação do sistema	Interpretação do referencial
N.I.	Bloco	N.I.	N.I.	Seixo	Bloco	N.I.	N.I.	N.I.	Arredondado	Lenticular	Conglomerado	Imbricado	N.I.	N.I.	Intraclastos e extraclastos	Horizontal (pouco definida)	Suportado por clastos	Correntes trativas	Migração de barras longitudinais
N.I.	Bloco	N.I.	N.I.	Seixo	Bloco	N.I.	N.I.	N.I.	Arredondado	N.I.	Conglomerado	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Estratificação cruzada	Suportado por clastos	Migração de barras transversais	Migração de barras transversais
N.I.	Bloco	N.I.	N.I.	Seixo	Bloco	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	subtabular a lenticular	Conglomerado	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Suportado pela matriz	Processo trativas deposicional	Processo que não é de correntes trativas subaquosas
Areia grossa	Areia muito grossa	Bloco	N.I.	Areia grossa	Areia muito grossa	N.I.	Mal selecionadas	N.I.	N.I.	N.I.	Arenito	N.I.	N.I.	N.I.	Intraclastos	Estratificação cruzada acanalada de ângulo baixo	N.I.	Migração de dunas 3D	Migração de dunas 3D
Areia grossa	Areia muito grossa	N.I.	N.I.	Areia grossa	Areia muito grossa	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Arenito	N.I.	N.I.	N.I.	Intraclastos	Estratificação Horizontal	N.I.	Migração de formas de leito planos	Migração de formas de leito planos
Areia média	Areia grossa	Seixo	N.I.	Areia média	Areia grossa	N.I.	Mal selecionados	N.I.	Angular a sub-angular	N.I.	Arenito	N.I.	N.I.	N.I.	Intraclastos	N.I.	N.I.	Processo trativas deposicional	Processo que não é de correntes trativas subaquosas
Argila	Silte	N.I.	N.I.	Argila	Argila	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Pelito	N.I.	N.I.	N.I.	Intraclastos	N.I.	N.I.	Processo trativas deposicional	Processo que não é de correntes trativas subaquosas
Argila	Areia	N.I.	N.I.	Argila	Silte	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Pelito	N.I.	N.I.	N.I.	Intraclastos	N.I.	N.I.	Processo trativas deposicional	Processo que não é de correntes trativas subaquosas

 **Verdadeiro positivo, com correspondência específica**  
 **Verdadeiro positivo, com correspondência geral**  
 **Verdadeiro negativo**

Figura B.2: Descrição detalhada de afloramento da formação Barreiras, no estado brasileiro do Rio de Janeiro. Cada fácies está associada às interpretações correspondentes, oferecidas pela literatura e pelo sistema.

Afloramento de Salt Range - Paquistão																			
Menor tamanho de grão	Maior tamanho de grão	Tamanho de grão da base	Tamanho de grão do topo	Moda 1	Moda 2	Moda 3	Seleção	Esfericidade	Arredondamento	Geometria	Litologia	Orientação de fábrica	Gradação da camada	Gradação do laminar	Ocorrência de grãos específicos	Estruturas deposicionais	Suporte de fábrica	Interpretação do sistema	Interpretação do referencial
Areia grossa	Areia muito grossa	Areia grossa	N.I.	Areia grossa	Areia muito grossa	N.I.	Mal selecionada	N.I.	Bem arredondado	Lenticular a tabular	Arenito	Imbricada	Inversa	N.I.	Extraclastos	Estratificação cruzada acanalada	Supportada por a por a clastos	Migração de dunas 3D	Migração de dunas 3D
Areia média	Areia muito grossa	Areia média	N.I.	Areia média	Areia muito grossa	N.I.	Moderadamente a mal selecionado	N.I.	Sub-angular a sub-arredondado	Cunha	Arenito	N.I.	N.I.	N.I.	Extraclastos	Estratificação cruzada acanalada	N.I.	Migração de dunas 3D	Migração de dunas 3D
Areia média	Areia grossa	Areia média	N.I.	Areia média	Areia grossa	N.I.	Mal selecionada	N.I.	N.I.	Lenticular	Arenito	N.I.	N.I.	N.I.	Extraclastos	Estratificação cruzada acanalada	N.I.	Migração de dunas 2D	Migração de dunas 2D
Areia fina	Areia grossa	Areia fina	N.I.	Areia fina	Areia grossa	N.I.	Bem selecionada	N.I.	N.I.	Cunha	Arenito	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Estratificação cruzada acanalada, estratificação cruzada planar, laminação cruzada com marcas	N.I.	Correntes trativas	Migração de dunas 3D
Areia muito fina	Areia média	Areia muito fina	N.I.	Areia média	Areia média	N.I.	N.I.	N.I.	Bem arredondado	Tabular	Arenito	N.I.	N.I.	Normal	N.I.	Estratificação cruzada acanalada, estratificação cruzada planar, laminação cruzada com marcas	N.I.	Migração de formas de leito planos	Migração de formas de leito planos
Argila	Argila	Argila	N.I.	Argila	Argila	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Cunha	Argilito	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Planar	N.I.	Depositional Process	Processo que não é de correntes trativas subaquosas
Argila	Argila	Argila	N.I.	Argila	Argila	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Cunha	Argilito	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	Planar	N.I.	Depositional Process	Processo que não é de correntes trativas subaquosas

Verdadeiro positivo, com correspondência específica  
 Verdadeiro positivo, com correspondência geral  
 Verdadeiro negativo

Figura B.3: Descrição detalhada de afloramento de Salt Range, no Paquistão. Cada fácies está associada às interpretações correspondentes, oferecidas pela literatura e pelo sistema.

## **APÊNDICE C CLASSES PARA REPRESENTAÇÃO DA ONTOLOGIA**

A ontologia foi representada na aplicação através de um conjunto de classes representado no diagrama de classes apresentado na Figura C.1.



Figura C.1: Diagrama de classes utilizadas para representar a ontologia na aplicação desenvolvida

## **APÊNDICE D CLASSES PARA REPRESENTAÇÃO DE PACOTES VISUAIS**

A estrutura do Pacote Visual foi representada na aplicação através de um conjunto de classes representado no diagrama de classes apresentado na Figura D.1. Cada pacote visual da aplicação corresponde a uma instanciação específica desta estrutura, constituindo um grafo que é processado pela aplicação durante a realização do processo de interpretação.

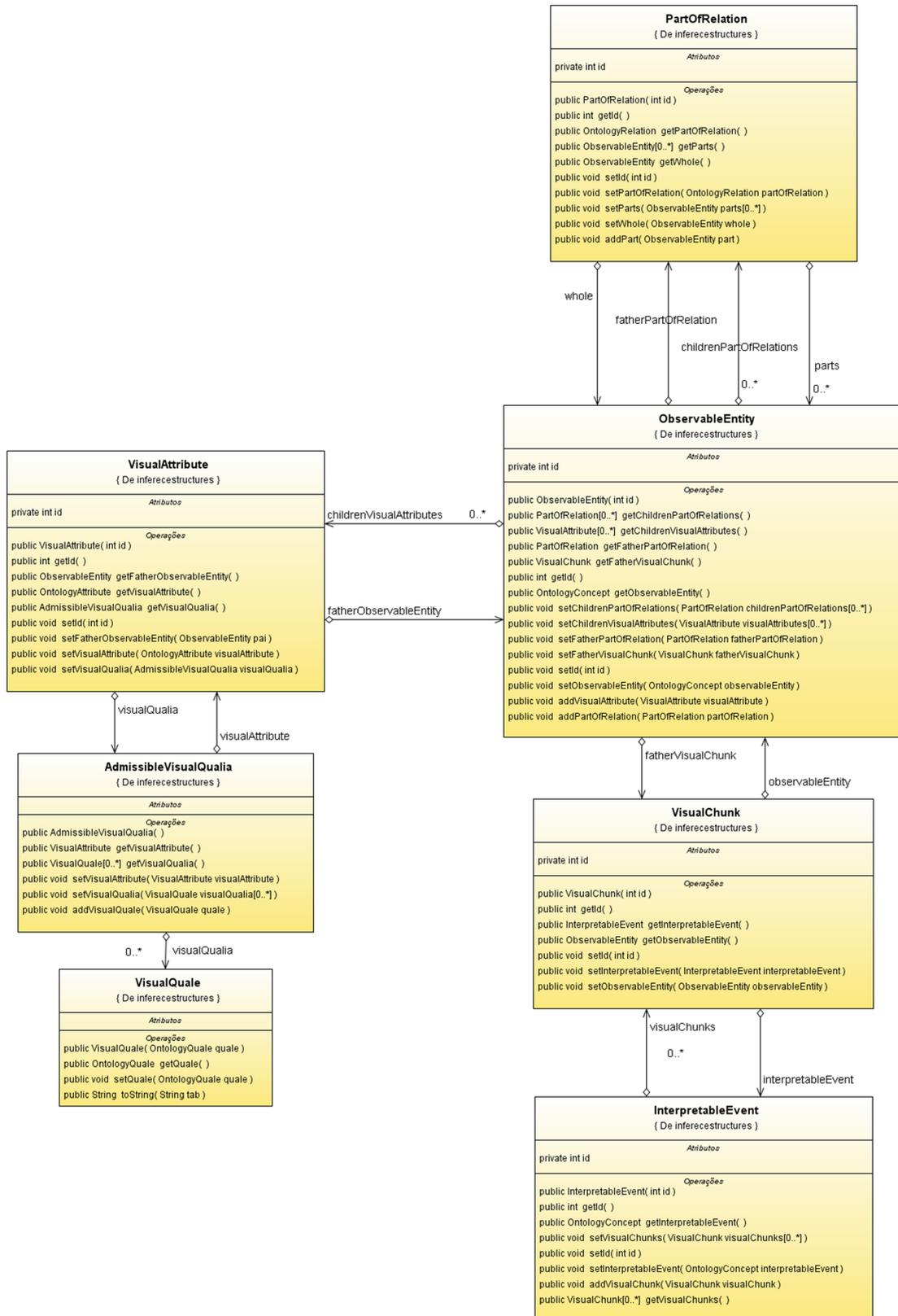


Figura D.1: Diagrama de classes utilizadas para representar pacotes visuais na aplicação desenvolvida