

4781-1
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
POS GRADUAÇÃO EM CIENCIA DA COMPUTAÇÃO

UM PROTÓTIPO DE SISTEMA ESPECIALISTA
PARA IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO
DE TURBIDITOS

por

MARA ABEL

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



UFRGS

SABi



05231398

Prof. Antônio Carlos da Rocha Costa
Orientador

Gebl. Jorge Carlos Della Favera
Coorientador

Porto Alegre, outubro de 1988.

UFRGS
BIBLIOTECA

Abel, Mara

Um protótipo de sistema especialista para identificação e classificação de turbiditos. Porto Alegre, PGCC da UFRGS, 1988.

1v.

Diss. (mestr. ci. comp.) UFRGS-PGCC, Porto Alegre, BR-RS, 1988.

Dissertação: Inteligência Artificial : Sistemas Especialistas : Aquisição de Conhecimento : Geologia.

Ao Luiz Henrique,
com amor
pela paciência.

A diferença entre os homens que imaginam grandes idéias e realizam grandes feitos está exatamente no verbo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à PETROBRAS S.A., pelos recursos financeiros e tecnológicos que possibilitaram a execução deste trabalho.

Ao meu orientador, prof. Antônio Carlos da Rocha Costa (PGCC-UFRGS) cuja inestimável colaboração foi de fundamental importância para o crescimento das idéias que culminaram no Sistema GEOXPRT.

Ao geólogo Jorge Carlos Della Favera (CENPES-PETROBRAS), especialista em Geologia de Turbiditos, cujo entusiasmo determinou o nível de qualidade alcançado no desenvolvimento do sistema.

Aos geólogos Hernani A. F. Chaves, Pedro De Cesero e Luiz Fernando De Ros, do CENPES-PETROBRAS, que enviaram farta bibliografia sobre Turbiditos e Sistemas Especialistas ao longo do trabalho. Ao último, em especial, por ser o autor da idéia deste mestrado.

Ao colega Flávio Moreira de Oliveira pelo precioso auxílio no aprendizado da Linguagem LISP.

Ao prof. Anatôlio Laschuk e ao eng. Ricardo Jacobi (PGCC-UFRGS) pela contribuição no desenvolvimento do editor gráfico.

Ao geól. Salomão Badi pelas sugestões e teste do sistema.

Ao Luiz Henrique, pela confecção dos desenhos do sistema e do texto.

Aos colegas do PGCC-UFRGS, pelo companheirismo e impagáveis favores feitos ao longo do curso.

Finalmente, um agradecimento especial ao prof. Ricardo Reis (PGCC-UFRGS) cuja inabalável teimosia permitiu meu ingresso neste curso.

SUMARIO

LISTA DE FIGURAS	08
RESUMO	10
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 <u>Conteúdo do Texto</u>	15
2 SISTEMAS ESPECIALISTAS APLICADOS A GEOLOGIA	20
2.1 <u>O Sistema PROSPECTOR</u>	20
2.2 <u>O Sistema MuPROSPECTOR</u>	24
2.3 <u>O Sistema MuPETROL</u>	26
2.4 <u>O Sistema DIPMETER ADVISOR</u>	29
2.5 <u>Sistemas Especialistas para Correlação</u> <u>Estratigráfica</u>	32
2.6 <u>O Sistema MUDMAN</u>	35
2.7 <u>Outras Ferramentas de Inteligência</u> <u>Artificial para Geologia</u>	36
2.7.1 <u>O Sistema EXPAL</u>	37
2.7.2 <u>Interface em Linguagem Natural</u>	38
3 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	42
4 DESCRIÇÃO DO SISTEMA GEOXPRT	48
4.1 <u>Interação com o Usuário</u>	49
4.1.1 <u>Descrição de uma Sessão de Consulta</u> ...	51
4.2 <u>O Banco de Conhecimentos</u>	58
4.2.1 <u>A Linguagem de Representação Externa</u> ..	59
4.2.1.1 <u>A Representação Externa</u> <u>das Ilustrações</u>	64
4.2.2 <u>Forma de Organização dos Espaços</u>	66
4.3 <u>A Estrutura de Controle</u>	70
4.4 <u>Módulos Auxiliares na Confecção do Banco</u>	72

5	ETAPAS NA AQUISIÇÃO DOS CONHECIMENTOS	76
5.1	<u>Construção do Modelo Geológico: Fácies</u> <u>e Modelo de Fácies</u>	76
5.1.1	Estudo de Exemplos Locais	80
5.1.2	Filtragem das Variações Locais	80
5.1.3	Utilização do Modelo de Fácies	81
5.2	<u>Análise do Modelo Geológico para</u> <u>Utilização pelo Computador</u>	83
5.2.1	Estudo do Modelo Geológico	83
5.2.2	Estabelecimento de Critérios	84
5.2.3	Análise do Conhecimento	85
5.2.3.1	Subdivisão do Problema	88
5.2.3.2	Análise das Informações	89
5.2.4	Tratamento dos Tipos de Informações ...	91
5.2.4.1	Tratamento das Informações Descritivas	91
5.2.4.2	Tratamento das Informações Interpretativas	97
5.2.4.3	Tratamento das Informações Cumulativas	98
5.2.4.4	Tratamento das Informações Negativas	100
5.2.4.5	Tratamento das Informações Contraditórias	103
6	AValiação DO SISTEMA	106
6.1	<u>Desempenho</u>	106
6.2	<u>Completeza</u>	107
6.3	<u>Adequação</u>	108
7	CONCLUSÃO	110
7.1	<u>Considerações para Desenvolvimento de</u> <u>Sistemas Especialistas</u>	114
	BIBLIOGRAFIA	118
ANEXO 1	Descrição do Modelo Geológico	126
ANEXO 2	Exemplo de uma Sessão de Consulta	142
ANEXO 3	Listagem do Banco de Conhecimento	164

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Correlação estratigráfica em perfil geofísico por similaridade de forma	33
Figura 3.1	Representação esquemática do ambiente de deposição de turbiditos (Modific. de /HEA 78/)	43
Figura 4.1	Representação esquemática das partes que compõem o Sistema GEOXPert	49
Figura 4.2	Exemplo de pergunta auxiliada por ilustração durante uma sessão de consulta com o GEOXPert	53
Figura 4.3	Apresentação do "TUTOR" no momento da interação	55
Figura 4.4	Grafo de espaços para espaços com uma saída	66
Figura 4.5	Grafo de espaços para espaços com duas saídas, uma associada à árvore de inferência	67
Figura 4.6	Grafo de espaços para espaços com duas saídas e uma resposta com peso	68
Figura 4.7	Grafo de espaços para espaços com duas saídas	69
Figura 5.1	Etapas na codificação do conhecimento	77
Figura 5.2	Construção e uso de um modelo de fácies, usando turbiditos como exemplo ...	79

Figura 5.3	Representação gráfica da informação composta por objetos, atributos e relacionamentos	92
Figura 5.4	Grafo de espaços com caminhos da interação das perguntas a, b, c e d no banco de conhecimento	94
Figura 5.5	Codificação de informação descritiva no conjunto "Associação de Fácies de Talude" do banco de conhecimento do GEOXPRT	96
Figura 5.6	Codificação de uma informação interpretativa do conjunto "Profundidade do Ambiente de Deposição" do banco de conhecimento do GEOXPRT	99
Figura 5.7	Codificação de informação cumulativa do conj. "Profundidade do Ambiente de Deposição" do banco de conhecimento do GEOXPRT	101
Figura 5.8	Codificação de informações negativas e contraditórias do conjunto "Profundidade do Ambiente de Deposição" do banco de conhecimento do GEOXPRT	104
Figura A.1	Subdivisões do Modelo de Fácies Turbidíticas /DEL 77/	132
Figura A.2	Modelo deposicional de um Sistema Turbidítico /DEL 77/	133
Figura A.3	Relações entre fácies de canal e intercanal de turbiditos (Adaptado de /MUT 77/)	135

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um protótipo de sistema especialista de consulta para identificação e classificação de ambientes sedimentares em Geologia, o Sistema GEOXPRT. É dada ênfase especial ao processo de aquisição de conhecimento. O sistema busca identificar depósitos turbidíticos (turbiditos são um tipo de rocha reservatório de petróleo) utilizando, de forma aproximada, a forma de raciocínio usual de um geólogo especialista em Geologia Sedimentar.

O processo de aquisição de conhecimento é analisado desde as fases iniciais de observação de dados e construção do modelo geológico, até o processo final de codificação para uso pelo computador. O conhecimento geológico é representado através de um grafo de espaços que define os caminhos da interação e contém as evidências e seus valores em relação à comprovação da hipótese. A estrutura de controle usa uma estratégia dirigida por objetivos e inclui tratamento de incerteza e teste de consistência das informações do usuário. Um protótipo do Sistema GEOXPRT foi implementado e testado, demonstrando suas capacidades e comportamento.

ABSTRACT

This dissertation describes the design of GEOXPRT, a prototype expert system providing consultational advice on both identification and classification of geological environments. Paper emphasis is on knowledge acquisition. The problem in focus is the identification of turbidite deposits (a kind of petroleum rock reservoir) and their component parts, by using reasoning methods similar to the usual methods employed by experts in sedimentary geology.

The knowledge acquisition process is analysed since the preliminary steps of data observation and geological model construction up to the final process of codification for computer processing. Geological knowledge is represented in a structure called space graph, which includes geological evidences and their weights for confirming the geological hypotheses. The control structure uses a goal-oriented strategy and includes uncertainty treatment and consistency test for input information. A prototype of the system has been implemented and limited testing has shown the capabilities and behaviour of the system.

CAPITULO 1

1 INTRODUÇÃO

Sistemas especialistas, ou sistemas baseados em conhecimento, são uma classe de sistemas de Inteligência Artificial desenvolvidos para servirem como consultores na tomada de decisões que envolvam áreas restritas da Ciência, normalmente apenas dominadas por especialistas humanos. São fruto do estudo em, pelo menos, três áreas da Ciência: a epistemologia, a ciência da computação e a área de aplicação do sistema.

A epistemologia permite a compreensão do conhecimento científico em relação ao espírito humano. Acredita-se que a forma como o homem observa um fato do mundo exterior, o transfere para sua representação interna e o relaciona com os demais fatos de seu universo interior é feita através de estruturas de símbolos. Essas estruturas fornecem as bases para a representação do conhecimento utilizando máquinas como meio.

A ciência da computação fornece, então, as ferramentas para viabilizar a utilização eficiente do conhecimento assim representado.

Os sistemas especialistas ampliam o alcance da Ciência ao libertar o conhecimento de suas fontes tradicionais: livros técnicos e especialistas. Os primeiros são ineficientes ao difundirem o conhecimento pela lentidão com que transmitem seu conteúdo e os segundos, por seu reduzido número.

O desenvolvimento de sistemas especialistas deve ter como objetivo criar um produto de fácil utilização, transparente na forma e fundamento do seu raciocínio, robustos e ágeis no manuseio das informações, e confiáveis nas suas conclusões.

Visando aprofundar o estudo das técnicas de criação de sistemas especialistas, este trabalho descreve o desenvolvimento de um protótipo de Sistema Especialista com ênfase nas tarefas de aquisição e codificação de conhecimento.

O Sistema Especialista GEOXPRT é um sistema de consulta para identificação e classificação de depósitos sedimentares turbidíticos. Turbiditos são rochas clásticas resultantes de deposição por correntes de alta densidade de sedimentos em ambiente de água profunda. Sob condições que permitam a geração de quantidades de hidrocarbonetos, podem servir como rocha-reservatório em campos de petróleo.

O sistema busca emular um geólogo especialista em rochas-reservatório, nos procedimentos de pesquisa que levam à identificação de depósitos turbidíticos a partir de dados de Geologia de campo.

A intenção deste trabalho é descrever os problemas e soluções encontrados no desenvolvimento de um sistema baseado em conhecimentos, que envolve uma área da Ciência dominado por um pequeno grupo de pessoas. Embora dirigido para problemas de Geologia do Petróleo, as características do desenvolvimento deste sistema encontram semelhanças em diversos outros sistemas aplicados aos mais variados domínios, podendo servir, desta forma, como guia para futuras pesquisas nesta área da Inteligência Artificial.

1.1 Conteúdo do Texto

O Capítulo 2 apresenta alguns Sistemas Especialistas aplicados a diversos campos da Geologia e que serviram como casos de estudo para o desenvolvimento do Sistema GEOXPRT. Foram enfatizados, no texto, os aspectos interessantes ou mais eficientes de cada um, mais do que fornecida uma descrição formal e uniforme de todos eles.

O Capítulo 3 contém a descrição da área de aplicação deste trabalho: o domínio da Geologia. É apresentado o fundamento teórico dos depósitos turbidíticos, sua importância econômica, a forma de estudo de rochas-reservatório, comumente utilizada no meio geológico, e como um sistema especialista poderia auxiliar esse trabalho.

O Capítulo 4 descreve a arquitetura do Sistema GEOXPert. O Banco de Conhecimento, a Estrutura de Controle (ou mecanismo de inferência) e as características de interação com o usuário são descritas nesse capítulo de modo a subsidiar com exemplos os capítulos que se seguem.

O Capítulo 5 contém a análise do processo de aquisição e codificação do conhecimento até a forma final utilizada pelo sistema. É feita uma investigação sobre os fundamentos teóricos do próprio processo de extração de informações da natureza realizado pelo geólogo. Essas informações são transportadas para um modelo geológico formalizado e analisadas para se prestarem à codificação para utilização pelo computador. São descritos os critérios que orientaram a criação e crescimento do banco de conhecimentos do Sistema GEOXPert, e apresentados trechos desse banco na forma da representação final.

O Capítulo 6 faz uma avaliação do Sistema GEOXPert como um sistema de classificação. São considerados aspectos de desempenho, completeza das informações do banco, adequação do programa e seu conjunto de informações em relação a resolução do problema. São discutidas algumas limitações do protótipo quanto à solução de casos reais.

O Capítulo 7 contém as conclusões obtidas ao longo da evolução do sistema. São enfatizados os principais passos do desenvolvimento de sistemas especialistas de consulta. São descritas as etapas no desenvolvimento do GEOXPert, em termos de implementação e crescimento do banco

de conhecimentos. Acrescenta-se ainda algumas considerações para futuras pesquisas neste campo.

Os Anexos do trabalho contêm os dados complementares à perfeita compreensão do assunto descrito no texto. O Anexo 1 contém a descrição detalhada do Modelo Geológico para Sistemas Turbidíticos a partir do qual foi extraído o conhecimento factual contido no banco de conhecimentos do Sistema GEOXPRT.

O Anexo 2 apresenta a sequência de perguntas, respostas e textos de parte de uma sessão de consulta normal com o sistema.

O Anexo 3 contém a íntegra do banco de conhecimentos do Sistema, como se encontra no momento da confecção deste texto.

CAPITULO 2

2 SISTEMAS ESPECIALISTAS APLICADOS A GEOLOGIA

O Sistema GEOXPRT, descrito neste trabalho, é um sistema de identificação e classificação aplicado à Geologia. Ele resolve o problema específico de reconhecer um depósito turbidítico, a partir de análise de dados geológicos de campo.

Outras áreas da Geologia mostraram-se aptas ao desenvolvimento de Sistemas Especialistas para resolver os mais diversos problemas, normalmente ligados à interpretação de dados e reconhecimento de ambientes. O trabalho pioneiro nessa área foi o Sistema PROSPECTOR /DUD 78/ que assessora a prospecção de depósitos minerais. Depois dele, várias instituições desenvolveram sistemas especialistas de uso comercial ou meramente acadêmico ligados à pesquisa das Ciências Geológicas.

Alguns desses sistemas serão descritos nos próximos itens.

2.1 O sistema PROSPECTOR

PROSPECTOR /DUD 78/ é um sistema especialista desenvolvido a partir de um projeto iniciado em 1975 no Artificial Intelligence Center do Stanford Research Institute International, nos Estados Unidos. Foi elaborado com a finalidade de codificar e organizar conhecimento especializado em Geologia Econômica para auxiliar nos problemas de avaliação de recursos regionais, identificação de depósitos de minério e seleção de áreas de sondagem. É dirigido especialmente para a prospecção de minerais-minério metálicos de chumbo, zinco, cobre, níquel, molibdênio e ouro, além de urânio. Busca oferecer assessoria similar à obtida de um grupo de geólogos especializados na Geologia Econômica de diversos tipos de ocorrências minerais.

O sistema consiste de um banco de conhecimentos que contém um conjunto de modelos geológicos, mais um mecanismo de inferência baseado em regras que conduz um diálogo com o usuário. O usuário inicia a sessão fornecendo informações sobre os tipos de rochas presentes na área em estudo. O sistema casa estes dados contra seus modelos e solicita informações adicionais para verificar qual, dentre seus modelos, o que melhor se encaixa na ocorrência do usuário. Em qualquer ponto da interação, o PROSPECTOR pode fornecer explicações sobre sua linha de raciocínio e porque determinadas conclusões foram atingidas /DUD 78/. O sistema aceita ainda a entrada e saída de dados na forma de mapas geológicos digitalizados.

A interação é feita através de perguntas, às quais o usuário responde com um valor entre -5 e 5. O valor -5 equivale a um "não" definitivo, o 5 equivale a "sim" e o zero, a um "não sei". Os diversos graus de certeza das respostas negativas e afirmativas são dados por valores intermediários. O usuário pode ainda solicitar uma reformulação da pergunta, caso não a tenha compreendido, (comando "?"), ou ainda uma explicação da influência da pergunta sobre a hipótese em consideração (comando "why"). Em qualquer momento da interação o usuário pode solicitar um resumo da sessão até o momento, de modo a obter as conclusões parciais estabelecidas pelo sistema até aquele momento.

O banco de conhecimentos do PROSPECTOR é codificado como uma rede de inferência, ou seja, uma rede de relações entre evidências de campo e hipóteses geológicas /GAS 81/ representada graficamente através de nós e arcos.

Pedaços de evidências são combinados para formar outros pedaços de evidências e, subsequentemente, confirmar hipóteses. Evidências podem ser montadas através de combinações lógicas ("E", "OU" e "NAO") de outras evidências.

Os vínculos entre hipóteses e evidências são estabelecidos através de regras do tipo:

Se < Evidência E >

Então (em algum grau LS, LN) < Hipótese H >

ou seja, "a observação da evidência E sugere, em algum grau (LS, LN), a hipótese H". Os parâmetros LS e LN especificam a "força" da regra e a influência da evidência sobre a hipótese. São parâmetros utilizados para considerar o nível de incerteza tanto da regra proposta pelo especialista como das próprias respostas do usuário, calculados através de Lógica Bayesiana [DUD 76]. O sistema pesquisa essa rede de inferência através de um processo dirigido por objetivos.

O processo de aquisição de conhecimento para construção e manutenção do banco de conhecimento do PROSPECTOR se realiza com o auxílio de um sistema construído especificamente para esse fim: o Sistema KAS (Knowledge Acquisition System). Esse sistema contém um conjunto de ferramentas para guardar as descrições externas do banco de conhecimento, (ou seja, uma linguagem formal, baseada em palavras chaves para representação da informação em um formato simbólico), e um analisador gramatical para interpretar a representação externa e gerar a estrutura de rede interna correspondente.

A linguagem formal do sistema PROSPECTOR propõe as unidades de informações representadas através de "spaces", que contém a pergunta associada à informação, uma explicação sobre o assunto, as conclusões e graus de confiança da informação. As idéias básicas dessa linguagem foram adaptadas para a representação externa do sistema GEOXPRT. (A representação externa do sistema é descrita no item 4.2.1 deste trabalho.)

O Sistema KAS possui ainda ferramentas para a construção do modelo, que são um combinador de redes semânticas para orientar o engenheiro de conhecimento na aquisição do conhecimento e um editor de redes (RESIDENT NETWORK EDITOR - RENE). O editor permite a construção simplificada de nós e arcos da rede garantindo a consistência do desenvolvimento por preservar as partes ainda não acabadas e verificar se todos os nós possuem os arcos respectivos.

O terceiro componente do sistema KAS serve para o teste do sistema, possuindo conjuntos de questionários que contêm as possíveis respostas do usuário para verificação das conclusões do sistema.

As avaliações de performance feitas para o PROSPECTOR /GAS 79 E 81/ (cobre porfiro e urânio) e /CAM 82/ (molibdênio porfiro) demonstraram a validade dos modelos constantes no banco de conhecimento. Recebendo como entrada dados de jazidas minerais conhecidas, o sistema identificou o tipo de depósito e, com razoável precisão, o sítio geológico onde se encontra dentro de uma determinada região. Testes feitos com jazidas ainda não delimitadas /CAM 82/ obtiveram uma precisão de avaliação proporcional à completeza dos dados fornecidos ao sistemas.

A estrutura do sistema PROSPECTOR, bem como seu mecanismo de inferência e ferramentas de aquisição de conhecimento, serviram como modelo para o desenvolvimento de diversas aplicações de sistemas especialistas à Geologia. Um exemplo de sistema especialista baseado em regras, aplicado à interpretação de ambientes deposicionais, foi construído utilizando o sistema de aquisição de conhecimentos (KAS) do PROSPECTOR /KRY 85/. O sistema busca determinar se uma unidade sedimentar sob consideração corresponde à deposição de areias de plataforma marinha. A finalidade de seu desenvolvimento é educacional e para demonstrar os métodos de resolução de problemas de um sistema especialista.

O sistema de /KRY 85/ utiliza a mesma forma de interação do PROSPECTOR e também a mesma forma de codificação do conhecimento através de redes de inferência. Sua estrutura permite uma forma de consulta simplificada que, se não substitui o especialista, torna o conhecimento disponível a um número maior de usuários.

2.2 O Sistema MuPROSPECTOR

MuPROSPECTOR /McC 83 e 84a/ é um sistema especialista desenvolvido para a avaliação dos recursos minerais de uma área restrita em Sherbrooke-Lewiston, quadrante 1x2 graus, Maine, New Hampshire e Vermont, pelo Departamento do Interior dos Estados Unidos. Contém modelos de depósitos para os cinco maiores terrenos tectonoestratigráficos reconhecidos naquele quadrante, desenvolvidos por geólogos com experiência em cada tipo de terreno. Foi implementado em LISP para microcomputador compatível com IBM-PC, baseado nas idéias desenvolvidas no Sistema PROSPECTOR do SRI International (a descrição do Sistema PROSPECTOR é dada no item 2.1). Embora não contenha todas as feições descritas para o sistema PROSPECTOR, o MuPROSPECTOR fornece ao usuário uma idéia introdutória aos sistemas para auxílio à prospecção de minério com técnicas de Inteligência Artificial.

O banco de conhecimentos do sistema MuPROSPECTOR é dividido em partes chamadas "modelos". Cada modelo contém o conjunto de regras necessárias para identificar um dos tipos de ocorrências tectonoestratigráficas que existem na área delimitada.

Os modelos do banco de conhecimento do sistema são codificados com a estrutura de uma árvore binária compondo uma "rede de discriminação" /COS 85/, onde cada ponto da rede representa uma etapa no processo de escolha ou classificação. A cada ponto é associado um espaço que

contêm uma pergunta sobre informação relevante do processo de interpretação. Os arcos que ligam um ponto a outro da rede são selecionados através das respostas "sim", "não" ou "dúvida" do usuário.

A rede de discriminação equivale a uma coleção de regras de inferência com a forma:

```
Se <Evidência E>
Então <Hipótese H>
Senão <Não-H>
```

O sistema não considera fatores de confiabilidade da regra ou das respostas do usuário.

A cada espaço da rede é associado, além da pergunta relativa à informação e os nomes dos próximos espaços ligados às respostas, um texto de explicação com uma reformulação da pergunta e um texto com uma conclusão parcial ligada à informação.

Os espaços finais ou "folhas" da árvore binária contêm a conclusão final associada ao conjunto de respostas do usuário.

Um espaço intermediário da rede tem a forma:

```
space    <nome do espaço>
desc     <conclusão parcial>
announce <texto introdução>      (opcional)
ques     <texto da pergunta>
expl     <explicação da pergunta>
yes      <nome do próximo espaço>
no       <nome do próximo espaço>
```

Um espaço terminal da rede tem a forma:

```
space    <nome do espaço>
desc     <conclusão parcial>
inf      <conclusão final>
```


A interação com o usuário é feita através das perguntas constantes nos espaços, às quais referem-se a várias formas de evidências (composição da rocha, estruturas tectônicas, minerais) presentes no depósito em estudo. As perguntas admitem respostas do tipo "sim", "não" ou "dúvida" (devido à codificação dos modelos, a resposta "dúvida" é tratada como a resposta "não"). A cada resposta, é associado o nome de um próximo espaço, o que determina a sequência de perguntas a serem feitas ao usuário.

O sistema possui ainda as opções "?" e "S" como facilidades de interação ao usuário. A opção "?" faz com que o sistema forneça uma explicação do contexto da pergunta e a reformule (texto associado a "expl" nos espaços do modelo), para melhor compreensão da sequência. A opção "S" fornece um sumário das respostas do usuário através das conclusões parciais atingidas pelo sistema, ou seja, são apresentados os textos associados a palavra chave "desc" dos espaços percorridos pelo usuário /COS 85/.

Quando o sistema atinge os espaços-folha da árvore de discriminação é apresentado ao usuário o sumário das respostas e as conclusões a respeito da área estudada.

MuPROSPECTOR é um sistema portátil e de fácil utilização que, valendo-se de poucos recursos computacionais, demonstra as potencialidades dos sistemas especialistas. Muitas das idéias de interação e representação do conhecimento foram estudadas para o desenvolvimento do sistema GEOXPRT.

2.3 O Sistema MuPETROL

O Sistema MuPETROL /MIL 86/ consiste de um banco de conhecimentos para classificação de bacias sedimentares construído sob a estrutura do MuPROSPECTOR. O esquema de classificação utilizado é aquele de KLEMME, H. D., 1975 e

1983 apud /MIL 86/ para avaliação de recursos petrolíferos em grandes bacias condicionadas por suas zonas crustais.

A intenção última do desenvolvimento do MuPETROL é integrá-lo a um sistema especialista que acesse todas as fases de análise de bacias para descoberta de campos de petróleo, desde as fases iniciais de classificação da bacia sedimentar, seleção dos métodos de avaliação dos recursos, até o resultado quantitativo do reservatório identificado. Em uma fase inicial, o sistema propõe-se a demonstrar a viabilidade de aplicar os conceitos de Inteligência Artificial e técnicas de aquisição de conhecimento para a construção de uma classificação global de bacias sedimentares relativa a ocorrência de petróleo. O sistema pode também ser utilizado como um tutor para as técnicas de análise e classificação de bacias.

A aquisição de conhecimento para o MuPETROL foi feita a partir de entrevistas com especialistas, referências publicadas e bancos de dados, o que permitiu a geração de nove modelos de bacias que compõem o banco do sistema. Cada um dos modelos constitui uma das classificações possíveis alcançadas pelo sistema.

Segundo MILLER /MIL 86/, a finalidade de usar um sistema de classificação de bacias sedimentares inclui:

"a) A geração de um sistema que pode ser utilizado para comparar todas as bacias do mundo sob um único arcabouço conceitual;

b) a análise da distribuição dos recursos de petróleo segundo esse mesmo arcabouço;

c) divisão de bacias complexas em suas partes componentes para análise;

d) comparação dos tipos de bacias para avaliação das zonas favoráveis para hidrocarbonetos;

e) identificação das características geológicas significantes à ocorrência de recursos de petróleo;

f) predição da ocorrência favorável de hidrocarbonetos em bacias pouco conhecidas ou desconhecidas através das classes de bacias similares."

Essas idéias aproximam-se daquelas propostas por WALKER /WAL 84/ para a utilização do Modelo Geológico (estando ele ou não codificado em computador) e que são descritas no item 5.1.3 deste trabalho. O esquema de classificação proposto por KLEMME (op.cit.) nada mais é do que um tipo de modelo geológico.

O esquema de classificação de bacias é codificado na forma de espaços de uma rede de inferência segundo o modelo do MUPROSPECTOR (Item 2.2). A codificação dos espaços em cada um dos nove modelos do banco seguiu as seguintes normas /MIL 86/:

"a) Identificação da natureza do embasamento crustal da bacia, ou seja, crosta continental ou marinha;

b) determinação da localização tectônica relativamente ao último movimento de placas que determinou a formação da bacia: convergente, divergente ou outros;

c) determinação da localização geográfica da bacia em relação à geografia global, como "Cráton Interior da América do Norte" ou "Margem Oceânica do Atlântico";

d) descrever a evolução estratigráfica da bacia identificando as características do tectonismo de geração ou deformação da bacia, ou seja, movimentos estruturais, tipos de falhamentos, etc;

e) descrever a evolução estratigráfica da bacia determinando os ciclos deposicionais relativos aos períodos tectônicos. "

Essas regras podem ser resumidas por:

a) Estabelecer o contexto geológico de ocorrência da bacia;

b) analisar as características descritivas que definem o tipo de bacia da ocorrência.

O item 5.2.3 deste trabalho (Análise do Conhecimento) investiga a elaboração de normas para codificação de conhecimento geológico para sistemas especialistas, fornecendo embasamento teórico às normas propostas por MILLER (op.cit.) para o MuPETROL.

O Sistema MuPETROL tem por finalidade auxiliar a fase inicial de prospecção de recursos de hidrocarbonetos em uma bacia sedimentar, que corresponde a classificação dessa bacia. Esse processo envolve a síntese em uma linguagem precisa da compreensão geológica sobre a gênese de bacias sedimentares e constitui-se em uma tarefa artesanal que exige criatividade e constante avaliação.

O sistema possui, em sua fase inicial, nove modelos com 160 regras e 300 espaços.

2.4 O Sistema DIPMETER ADVISOR

O Sistema DIPMETER ADVISOR /SMI 84/ é um sistema especialista comercial para interpretação de dados geofísicos de poços para prospecção de petróleo. Foi desenvolvido entre 1978 e 1981 pela Schlumberger-Doll Research nos Estados Unidos, implementado em LISP para uma máquina XEROX.

O sistema emula um especialista na interpretação geológica de dados de poço. Basicamente, uma sondagem para óleo inclui um perfil geofísico do poço perfurado para estudo. Uma ferramenta munida de sensores de condutividade e raios gama desce lentamente tomando medidas em toda circunferência em torno do poço. Essas medidas são

comparadas a dados de litologia e geologia local e regional, obtendo a interpretação do ambiente deposicional e posição das litologias e estruturas em subsuperfície.

A estrutura do sistema é formada de quatro componentes centrais:

a) um banco de conhecimento que contém um número de regras de produção agrupadas em conjuntos de acordo com a função (interpretação de dados de litologia, correlação estratigráfica, etc.). As regras são da forma

Se < Evidência(s) E >
Então < Hipótese(s) H >;

b) um mecanismo de inferência que aplica as regras dirigido por objetivos, resolvendo conflitos pela preferência das regras;

c) um conjunto de algoritmos de detecção de feições que converte os dados de condutividade e raios gama em padrões de direção de camada e zonas litológicas;

d) uma interface gráfica dirigida por menu para controlar a interação com o usuário e fornecer uma visão gráfica das medidas feitas em toda extensão do poço (permite "scrolling" ou "ZOOM" de porções do poço).

O sistema agrega técnicas de programação em Inteligência Artificial aliadas àquelas da computação convencional gerando uma estrutura robusta e boa performance ao sistema. Possui um núcleo de sistema especialista, composto de regras de produção e um mecanismo de inferência, apoiado em um sistema algorítmico, implementado em FORTRAN, este último responsável pelo processamento dos dados analógicos e pela interface com o usuário. Com essa estrutura, a tarefa de interpretação dos dados de poço, que se divide em onze fases consecutivas /SMI 84/, tem apenas quatro que são executadas através do casamento de regras, a qual exige processamento de dados

simbólicos, ou seja, uma computação mais lenta. As demais correspondem à execução de algoritmos estatísticos de identificação de padrões e verificação de possíveis erros.

O processo de desenvolvimento do sistema deu-se através de diversas etapas, resumidas nos seguintes passos:

a) A fase inicial corresponde ao estudo do problema e da viabilidade de resolução por técnicas de Inteligência Artificial. Normalmente, a viabilidade é demonstrada através de um protótipo.

b) A etapa seguinte consiste em uma expansão do conhecimento utilizando as ferramentas do protótipo sem maiores modificações. A um determinado ponto do desenvolvimento, o sistema demonstra não ter força suficiente para manipular o conhecimento de modo a extrair todo o potencial da inferência. Paralelamente, ocorre uma degradação na própria execução do sistema.

c) o próximo estágio refere-se a um esforço de programação para expandir as capacidades do sistema e melhorar sua performance. Nessa etapa, o banco de conhecimento pouco evolui.

Todo o processo de geração do sistema se dá através de sucessivas fases de expansão das ferramentas do sistema e de ênfase na aquisição de conhecimento. Normalmente, a fase de aquisição de conhecimento encerra quando começa a ocorrer degradação na performance de execução do sistema. Nesse momento, começam a ser desenvolvidas novas ferramentas e o banco de conhecimento sofre um refinamento de seu conteúdo.

Essas etapas de desenvolvimento de Sistemas Especialistas são reconhecidas em outros sistemas. O mesmo processo deu-se para o sistema MYCIN /BUC 84/ e no desenvolvimento do GEOPERT (O Capítulo 4 deste trabalho trata da descrição do sistema.)

O Sistema DIPMETER ADVISOR mostrou a viabilidade de desenvolvimento de Sistemas Especialistas de uso comercial. O tempo de desenvolvimento para torná-lo operacional e apto para prestar consultoria em sondagens de campo foi de quatro anos. A tarefa para o qual foi inicialmente projetado foi o reconhecimento de estruturas sedimentares de ambiente deltaico a partir de dados de condutividade e raios gama obtidos em poços de sondagens. As próximas etapas de sua expansão visam o reconhecimento de outros ambientes sedimentares e a inclusão de conhecimento básico de Geologia para permitir raciocínios mais complexos e garantir uma maior consistência da conclusão obtida.

2.5 Sistemas Especialistas para Correlação Estratigráfica

A tarefa realizada pelo Sistema DIPMETER ADVISOR também é, em suas variações, desenvolvida por outros sistemas especialistas com abordagens distintas.

KUO e STARTZMAN /KUO 87/ e OLEA e DAVIS /OLE 86/ apresentam sistemas baseados em regras de produção que realizam correlação estratigráfica de poços de prospecção de óleo a partir de dados geofísicos (condutividade, resistividade e raios gama).

A correlação estratigráfica fornece dados para determinar a geometria das camadas de rochas em subsuperfície, essencial para construção de mapas estruturais e medidas de reservas de petróleo.

Os dados são obtidos com base no reconhecimento de padrões similares de assinaturas nos registros do poço, ou seja, no reconhecimento de zonas com formas semelhantes nos desenhos dos registros. Um exemplo de correlação estratigráfica por similaridade de forma é mostrada na figura 2.1, extraída de /KUO 87/.

Embora existam muitas formas de tratamento numérico para o reconhecimento de padrões em perfil de poços (OLE 86), na prática, as interpretações resultantes são frequentemente errôneas, pois não consideram variações geológicas locais. O reconhecimento de formas e padrões similares em registros geofísicos é uma tarefa qualitativa, de caráter intuitivo, cuja habilidade resulta de longa experiência prática de poucos geofísicos.

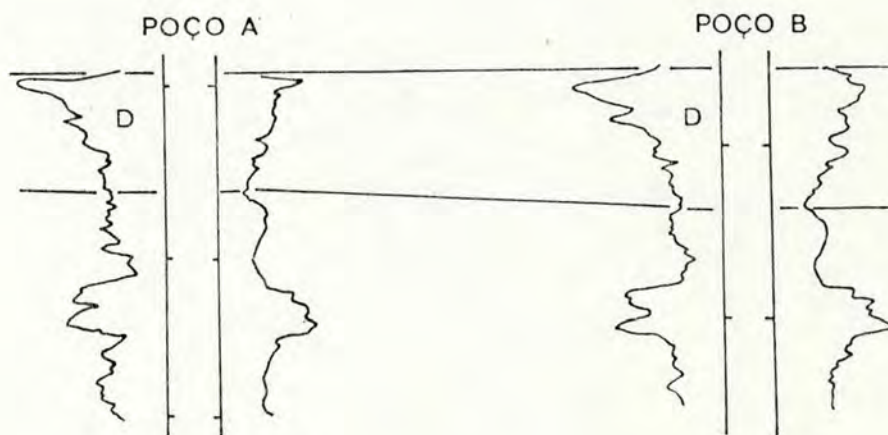


Figura 2.1 - Correlação estratigráfica em perfil geofísico por similaridade de forma.

O sistema apresentado por KUO e STARTZMAN (op.cit.) realiza a correlação com base fundamentalmente na forma dos registros, das quais são extraídas zonas geológicas. A tarefa do sistema pode ser dividida em quatro etapas:

a) transformação dos dados analógicos dos registros em dados digitais;

b) determinação das zonas geológicas em cada poço, ou seja, reconhecimento das formas similares e separação dos registros em regiões seguindo os padrões de formas;

c) caracterização das zonas equivalentes entre os poços baseado nas formas dos registros, espessura da zona, litologia, amplitude média dos registros e similaridade de zonas vizinhas;

d) correlação de equivalência entre a Zona A do Poço 1 e Zona C do Poço 2; Zona B do Poço 1 e Zona E do Poço 2, e assim por diante, baseado nos critérios determinados por especialistas.

Com exceção da preparação dos dados (etapa b), as demais tarefas são realizadas por inferência com base em regras específicas para cada caso. As regras são do tipo SE - ENTAO, similares àquelas dos demais sistemas descritos neste Capítulo, porém incluindo um "grau de ajuste" da regra. Conforme o número de evidências presentes que casam com aquelas que compõem a regra, a correlação é classificada como excelente, boa, regular e pobre. Uma correlação excelente ou boa é considerada a mais provável de ser a correta e é submetida a uma checagem que verifica a correlação das zonas vizinhas para o resultado final.

O Sistema de KUO e STARTZMAN constitui-se em um protótipo que estabelece a correlação estratigráfica com base em um tipo de registro, sem considerar todos os critérios geológicos envolvidos na correlação. Uma ampliação do sistema deveria incluir conjuntos de regras para avaliação de dados estruturais, de fácies e litologia para complementar a interpretação.

O Sistema apresentado por OLEA e DAVIS (op.cit.) incorpora um pequeno conjunto de regras de produção em um sistema de processamento de dados de poço. As regras, uma vez estabelecidas, foram traduzidas para um programa em

FORTRAN. O Sistema executa um processamento analítico extensivo sobre os dados geofísicos, fornecendo ao módulo especialista do sistema os dados de cada poço com as zonas já determinadas. As regras buscam as similaridades entre as zonas de cada poço para estabelecer correlação.

O Sistema considera todos os registros geofísicos disponíveis e tem obtido bons resultados, mesmo em seções com mais de 30.000 metros e razoável complexidade geológica. Uma extensão do sistema deveria incluir regras de produção para selecionar os próprios parâmetros de operação e verificar previamente as correlações produzidas, possibilitando ao sistema ser utilizado por usuários não-especialistas.

2.6 O Sistema MUDMAN

MUDMAN /DEC 86/ é um sistema especialista de uso comercial desenvolvido a partir de uma cooperação entre a Universidade de Pittsburgh e a Baroid/NL Industries nos EUA, para servir como consultor sobre problemas ligados à perfuração de poços de petróleo.

O sistema incorpora um banco de conhecimento com mais de 1.000 regras de produção sobre tecnologia de fluidos de perfuração. O programa roda em um superminicomputador que mantém terminais avançados nos locais de perfuração e despendeu grandes recursos para seu desenvolvimento.

A equipe de criação do sistema foi composta por engenheiros de conhecimento e por um grupo de técnicos em perfuração da Baroid. Os técnicos foram afastados de suas funções e receberam um treinamento intensivo sobre desenvolvimento de Sistemas Especialistas. Uma posterior interação entre programadores, técnicos em perfuração e engenheiros de conhecimento gerou o conjunto inicial de regras, que posteriormente foi refinado e expandido.

As regras contêm, além dos diagnósticos dos problemas normais de perfuração, o conjunto de informações técnicas de base sobre perfuração. Quando o problema é apresentado, todas as regras têm igual possibilidade de serem utilizadas. O mecanismo de inferência realiza as avaliações de quais hipóteses são mais prováveis com base nas próprias regras.

O alto custo do sistema foi justificado pela performance alcançada. O sistema atende quatro áreas de perfuração simultaneamente, mantendo disponível conhecimento altamente especializado durante as 24 horas do dia. As expansões prevêem a implementação de uma versão em microcomputador para servir as áreas que não possuem acesso a um terminal por cabo telefônico, e a inclusão de regras que abranjam problemas menos comuns ligados à perfuração, hoje ainda resolvidos com a ida de um especialista à área de prospecção.

2.7 Outras Ferramentas de Inteligência Artificial para Geologia

A utilização de Inteligência Artificial na Geologia não é restrita à interpretação de dados qualitativos ou auxílio à tomada de decisão. Uma área de pesquisa ainda insuficientemente estudada refere-se ao gerenciamento inteligente de grandes bancos de dados geológicos.

As técnicas conhecidas de gerenciamento de bancos de dados demonstram não ter muita aplicação quando se trata de controlar informações geológicas. Essas informações invariavelmente incluem vastas descrições sobre objetos diversos de Geologia, normalmente efetuadas em uma linguagem mais pessoal do que técnica. Incluem-se os exemplos comuns de descrições de lâminas petrográficas, testemunhos de sondagem, amostras de litologias obtidas em mapeamento, ou dados de reconhecimento de espécies fósseis.

Ao próprio problema de armazenamento organizado dessa informação adiciona-se o problema de recuperá-la de forma ágil, uma vez que o número de variáveis de recuperação atinge valores intratáveis. Na prática, o resultado é um conjunto de extensos arquivos mortos e catálogos de informações perdidas, tal a dificuldade em pesquisar o volume de informações.

Alguns esforços de pesquisa estão sendo realizados nestas duas frentes: o armazenamento de informação descritiva e a recuperação de dados com interface facilitada. Exemplos desses sistemas são descritos a seguir.

2.7.1 O Sistema EXPAL

O Sistema EXPAL /CON 88/ é um sistema para criação e manutenção de um banco de dados sobre paleontologia marinha. O sistema inclui um módulo de sistema especialista para descrição e identificação de espécimes desconhecidas.

O sistema contém em seu banco de conhecimento um conjunto de descritores morfológicos, baseado nos quais o sistema busca fazer seus diagnósticos através do casamento de atributos. Quando uma amostra do fóssil vai ser descrita, o sistema solicita ao usuário os atributos relativos a cada descritor e seleciona no banco de dados o grupo de espécies possíveis a que pode pertencer a amostra. O próprio usuário pode fornecer os descritores para identificar a espécie única a que corresponde a amostra.

A informação do banco pode ser recuperada por qualquer cruzamento de descritores além de dados de distribuição estratigráfica, referências ou citações em bibliografias.

O sistema roda em um IBM-XT e a interface é completamente dirigida por menu. Na fase atual, o banco de conhecimento contém 340 descritores essencialmente morfológicos, relativos a um tipo de algas verdes calcáreas. Expansões prevêem inclusão de outros gêneros de microfósseis e espécies de palinologia.

2.7.2 Interface em Linguagem Natural para Recuperação de Dados Geológicos

As interfaces normalmente utilizadas por Sistemas Especialistas são aquelas dirigidas por menu ou baseadas em perguntas diretas (que admitem resposta SIM/NAO).

O Centro de Pesquisas Amoco Production Research tem trabalhado no desenvolvimento de uma interface que permite aos geólogos requisitar tipos de mapas geológicos ao computador utilizando a mesma linguagem que usariam para encomendar mapas a um desenhista /ENN 85/.

O usuário escreve em um terminal a solicitação através de frases comuns de linguagem técnica. O sistema examina o texto para interpretar a sintaxe, semântica e contexto das frases. O analisador sintático examina a ordenação do texto, reconhecendo pronomes e verbos. O analisador semântico verifica o significado das palavras para identificar o objetivo da solicitação. O analisador de contexto determina o significado de palavras ambíguas por sua posição sintática na frase. Completada a interpretação, o sistema apresenta ao usuário a versão estruturada do comando e solicita os dados adicionais necessários para completar a ação.

O sistema apresenta um bom índice de compreensão para os requisitos mais comuns, solicitando informações específicas quando não "compreende" a totalidade do

comando. Poucos minutos de treinamento são necessários para um geólogo utilizar o sistema e obter diferentes tipos de mapas.

A interface facilitada despende altos recursos computacionais. O sistema, escrito em LISP, roda em um computador de grande porte e necessita um espaço de endereçamento para execução normalmente não disponível para usuários comuns.

Uma avaliação do sistema permite concluir que a utilização de interface em linguagem natural eficiente em sistemas interativos ainda necessita uma quantidade razoável de pesquisa. A melhora dos recursos computacionais, novas formas de tratar termos ambíguos ou com grande quantidade de sinônimos e criação de ferramentas para otimizar o tempo de desenvolvimento desses sistemas são apenas alguns dos problemas. Em termos de resultados, no entanto, as interfaces de linguagem natural tornam um número cada vez maior de sistemas acessíveis a todos os tipos de usuários.

CAPITULO 3

3 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Correntes de turbidez constituem eventos espasmódicos de deposição de grandes massas de sedimentos, impulsionados pelo próprio peso sob ação da gravidade.

Regiões como lagos ou oceanos recebem um contínuo aporte de sedimentos das zonas continentais. Esses sedimentos vão se acumulando nas bordas dessas bacias em suas áreas mais rasas. Sob determinadas condições (terremotos, movimentos tectônicos, oscilações do nível do mar) os sedimentos, ainda mal consolidados, podem instabilizar-se, colocando em suspensão toneladas de blocos, areia e lama que deslizam em direção ao centro da bacia com grande velocidade e força erosiva. Um único evento deposicional como este pode deslocar um volume de até 100 km³ de sedimentos, depositando-os sobre uma área de cerca de 100.000 km², dimensões essas calculadas para a corrente turbidítica de Grand Banks gerada pelo terremoto de 1929, em Newfoundland, nos Estados Unidos (HEA 78).

Os sedimentos são depositados à medida que a corrente vai perdendo a competência do transporte, gerando os turbiditos, que se acumulam em depósitos com formas típicas de leque (figuras 3.1 e A.2). Nas porções mais proximais do leque, concentram-se sedimentos grosseiros, blocos e cascalho em canais escavados pela própria corrente. A parte média acumula areia, enquanto nas porções distais depositam silte e argila. A descrição detalhada da geometria do leque de deposição de um depósito turbidítico, suas litologias e estruturas são fornecidas no Anexo 1 deste trabalho, que contém o Modelo Geológico utilizado.

Para ambientes como lagos profundos e oceanos, as correntes de turbidez são os únicos meios de deposição eficientes e que geram depósitos turbidíticos expressivos, uma vez que a taxa de sedimentação normal do local é muito baixa. Em outras áreas de menor profundidade de água, os

depósitos gerados por essas correntes são retrabalhados pelos agentes normais de transporte do local e os registros não se preservam.

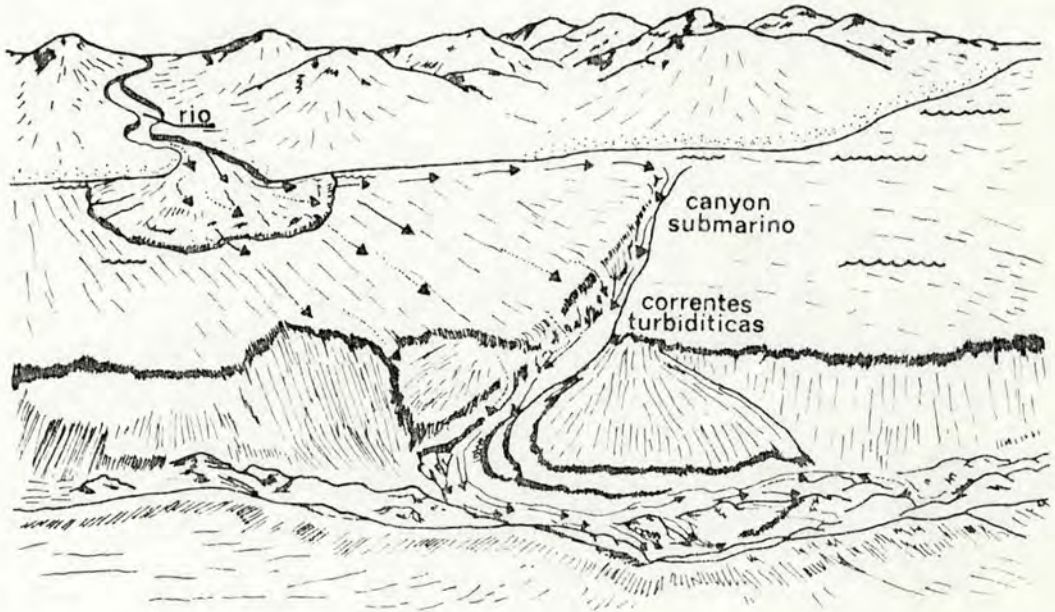


Figura 3.1 - Representação esquemática de um ambiente de deposição de turbiditos. (Modificado de /HEA 78/).

Pelas características dos depósitos gerados por correntes de turbidez, o estudo de turbiditos é importante para a Geologia de Petróleo. Leques turbidíticos contêm grandes extensões de espessos depósitos de areias limpas e porosas, capeadas por rochas impermeáveis formadas por sedimentos finos. Sob condições que permitam geração de hidrocarbonetos, essas areias possuem as qualidades indispensáveis para constituírem rochas reservatório de petróleo.

No Brasil, diferentemente de outras ocorrências mundiais de petróleo, os campos petrolíferos expressivos associam-se à presença de areias turbidíticas. A Bacia do Recôncavo (Bahia), que constitui a primeira região petrolífera explorada no Brasil, corresponde a um antigo lago tectônico e muitas das ocorrências de óleo se dão em areias turbidíticas (BRU 85). Da mesma forma, as ocorrências de óleo nas bacias da plataforma continental brasileira, como a Bacia de Campos (Rio de Janeiro) (MOR 86) e de Sergipe-Alagoas ocorrem em leques turbidíticos.

A presença de óleo em subsuperfície é detetada através de métodos indiretos: perfis geofísicos de poços de sondagem (o item 2.5 deste trabalho trata sobre sistemas especialistas para essas aplicações), radiativos, elétricos, gravimétricos e sônicos, além de dados obtidos em coleta de testemunhos. Essas informações são interpretadas para inferir a geometria dos reservatórios, ou seja, seu tamanho, forma e posição.

A interpretação dos dados de perfilagem e seções sísmicas é feita com base no modelo geológico para deposição de leques submarinos. Os dados de subsuperfície são analisados para determinar a qual porção do leque corresponde a região em estudo e, portanto, qual a provável extensão e comportamento espacial das rochas. Essa interpretação dirige as pesquisas, determina os novos locais a serem perfurados ou perfilados e permite realizar uma avaliação da quantidade de óleo ou gás contida no reservatório.

A construção do modelo geológico é feita a partir do estudo de rochas que afloram em diversas bacias sedimentares do continente (o estudo de bacias sedimentares não é condicionado à presença de óleo, mas a ocorrência dos tipos de rochas que, em outros locais podem conter). Exemplos de bacias sedimentares que contêm turbiditos são a Bacia do Paraná (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo) e Apeninos (Itália) que são fontes de estudo

para construção de modelos geológicos.

Nas bacias aflorantes, são estudados in loco os tipos de litologia, suas dimensões, e construído um modelo geral do modo de ocorrência do tipo de rocha em estudo. Por similaridade, o mesmo tipo de rocha em subsuperfície deve apresentar comportamento semelhante. O Capítulo 5 deste trabalho detalha o método de construção de um modelo geológico e o Anexo 1 descreve o modelo geológico aqui utilizado.

A elaboração e perfeita compreensão de um modelo geológico de qualquer tipo de depósito é uma tarefa que exige estudo extensivo, tanto dos exemplos de ocorrência como dos processos físicos ligados à deposição. O conhecimento acaba tornando-se privilégio de alguns poucos especialistas do assunto que devem transmiti-lo aos geólogos de exploração.

Na exploração de petróleo, o conhecimento do modelo geológico tem importância fundamental de ordem econômica. Ele define os locais de perfuração (logo, define a própria possibilidade de localizar petróleo onde ele se encontra), bem como a quantidade em que ele deve ocorrer, o que determina a economicidade do reservatório. Uma vez que é impraticável manter um especialista em rochas reservatório acompanhando cada poço em uma área de pesquisa, torna-se fundamental automatizar o processo de transmissão do conhecimento, agilizando-o, mantendo-o atualizado e acessível.

Como visto no Capítulo 2, sistemas especialistas permitem codificar conhecimento simbólico, subjetivo e inexato de uma forma facilmente atualizável e acessível a leigos em computação. O sistema pode ser utilizado para armazenar as informações de modo organizado e mantendo o conteúdo semântico. Pode ainda servir de tutor para interpretar dados de alguma área de pesquisa ou como um verificador de interpretações possíveis.

O Sistema GEOXPRT apresenta estes recursos através da representação em computador de um modelo geológico de deposição de turbiditos, o qual é utilizado para interpretação dos dados das bacias petrolíferas brasileiras.

CAPITULO 4

4 DESCRIÇÃO DO SISTEMA GEOXPRT

GEOXPRT é um sistema especialista interativo que controla um diálogo com o usuário sobre a interpretação de informações geológicas. O programa questiona sobre dados de Geologia de campo, em especial Geologia de Turbiditos, com base no conteúdo do seu banco de conhecimentos, o qual contém o modelo geológico de um depósito turbidítico clássico. A partir das respostas do usuário, o sistema realiza suas inferências e atinge conclusões.

A estrutura do sistema possui duas partes principais independentes - a estrutura de controle e o banco de conhecimento - e alguns módulos auxiliares para aquisição do conhecimento.

O banco de conhecimentos contém os conteúdos a respeito de Geologia de Turbiditos e as regras de interpretação desses conteúdos. A estrutura de controle carrega a informação do banco para a memória do computador, realiza a interpretação dos espaços, e comanda a interação com o usuário.

Os módulos auxiliares referem-se às ferramentas de aquisição de conhecimento e desenvolvimento do banco, constituídos de um editor de texto e um editor gráfico.

Três tipos de pessoas estão envolvidas no desenvolvimento do GEOXPRT: o especialista, o engenheiro de conhecimentos e o usuário do sistema.

O especialista é o geólogo com conhecimento profundo na área de Geologia de turbiditos, responsável pela validade e seleção da informação contida no banco. Neste caso é representado pelo Geól. Jorge Carlos Della Favera do Centro de Ensino e Pesquisa da PETROBRAS S.A.

O engenheiro de conhecimento é o cientista da computação, responsável por extrair o conhecimento do

especialista e codificá-lo na forma da representação externa do banco, bem como manter a consistência lógica do banco durante seu desenvolvimento.

O usuário do sistema, na fase de desenvolvimento, realiza os testes de interação e lógica do diálogo. Corresponde a um ou mais geólogos com conhecimento em Geologia Sedimentar, mas não em programação ou Inteligência Artificial.

A estrutura lógica do sistema está representada na Figura 4.1.

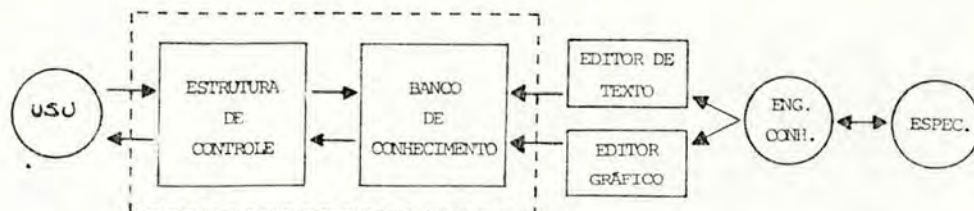


Figura 4.1 - Representação esquemática das partes que compõem o Sistema GEOXPert.

4.1 Interação com o Usuário

O Sistema GEOXPert foi construído para auxiliar um Geólogo com conhecimentos em Geologia Sedimentar a interpretar prováveis bacias turbidíticas. Não é esperado que o usuário tenha conhecimento sobre computação ou sistemas especialistas, portanto a interação usuário-sistema deve ser o mais natural possível.

Basicamente, a interação é feita através de um diálogo com o usuário, no qual o sistema pergunta sobre a presença de evidências geológicas ligadas à ocorrência de turbiditos. As respostas são do tipo "sim", "não" e "não-sei". As perguntas, ou explicações das perguntas podem ser reforçadas através de elementos gráficos.

Excetuando os diálogos, referentes à consulta propriamente dita, a interação é complementada através de menus onde o usuário seleciona o assunto que quer analisar, se deseja alguma avaliação de sessão ou encerrar o sistema.

A filosofia da interação compreende o fornecimento de toda a informação necessária à compreensão de cada momento da consulta, tanto no que se refere aos comandos do sistema como ao assunto que está sendo abordado. Para isso, são utilizados diversos recursos:

a) textos de introdução ao sistema, que fornecem um resumo do modelo de Geologia a ser utilizado;

b) textos de introdução ao diálogo ou de encaminhamento das perguntas;

c) textos de explicação solicitados pelo usuário durante o diálogo;

d) desenhos e ilustrações contendo esquemas de geologia;

e) resumos da interação, com conclusões parciais, fornecidos quando solicitados;

f) tutorial com o resumo da nomenclatura descritiva utilizada, o qual pode ser ativado em qualquer momento do diálogo;

g) janela de orientação (no rodapé da tela) com opções para o usuário ou mensagens de encaminhamento.

Esses recursos podem ser melhor compreendidos através da descrição de uma sessão normal de consulta.

4.1.1 Descrição de uma Sessão de Consulta

A entrada no GEOXPRT é feita pela chamada direta do sistema a partir do sistema operacional:

A> GEOXPRT

São mostrados ao usuário os textos de apresentação do sistema, as opções de comandos e o menu para escolha do banco de conhecimentos. São apresentados para escolha os bancos de conhecimentos contidos no diretório "default".

Uma vez selecionado o banco (o banco de conhecimentos sobre depósitos turbidíticos chama-se "TURBID"), o sistema irá fornecer ao usuário um resumo do modelo geológico contido no banco através de textos e desenhos.

A seguir, é apresentado o "Menu dos Conjuntos" onde o usuário seleciona qual porção do modelo geológico deseja analisar, ou se quer avaliar a sessão ou encerrar o sistema (naturalmente, no início da sessão não há avaliação ainda para ser feita). As divisões do modelo geológico são explicados no item 4.2 - O Banco de Conhecimentos.

Para o banco de conhecimentos sobre turbiditos, são apresentadas sete opções de escolha ao usuário. As cinco primeiras são específicas para o modelo e as duas últimas são opções-padrão para o sistema.

- a) Profundidade do Ambiente de Deposição
- b) Associação de fácies de Talude
- c) Associação de fácies de Leque Interno
- d) Associação de fácies de Leque Externo
- e) Associação de fácies de Planície Bacia
- f) Avaliação Final da Sessão
- g) Encerrar o GEOXPRT

E aconselhável (mas não necessário) que o usuário escolha os assuntos a serem analisados na ordem em que são apresentados, para facilidade de compreensão da informação de Geologia (veja item 5.2.3 - Análise do Conhecimento).

Se o usuário escolher uma das cinco primeiras opções, o sistema inicia o diálogo introduzindo o assunto que foi escolhido. A primeira pergunta de cada sessão sempre indagará se o usuário deseja informações mais detalhadas sobre o assunto a ser tratado. Caso não sejam necessárias maiores explicações, o sistema inicia uma série de perguntas sobre a presença de evidências geológicas de diversos tipos (litologia, estruturas, fósseis) e a forma como essas evidências ocorrem na área em estudo.

Cada tipo de informação abordada é apresentada ao usuário antecipadamente, através de um resumo do assunto. Algumas são ilustradas com desenhos ou esquemas (Figura 4.2). O usuário pode responder a cada pergunta com:

S - SIM. Se ele identificou a evidência geológica na forma como o sistema apresenta;

N - NAO. Se não identificou;

D - DUVIDA. Se tem dúvida sobre ter reconhecido a evidência na região de estudo ou não tem conhecimento sobre o que a pergunta solicita;

? - EXPLICAÇÃO. Se não compreendeu o que foi solicitado na questão e necessita informação adicional;

R - RESUMO. Quer um resumo das conclusões obtidas até aquele ponto da consulta sobre o assunto escolhido;

T - TUTOR. Quer rever as características do modelo geológico;

ESC - SAÍDA. Quer encerrar o diálogo sem obter a conclusão.

O sistema de distribuicao do leque submarino corresponde ao conjunto de canais de alimentacao da parte superior do leque submarino, aos depositos entre estes canais e as acumulacoes em suas porcoes terminais. A litologia predominante compoe-se de sedimentos grosseiros, com granodecrescencia ascendente preenchendo canais, sedimentos finos de intercanal e com estruturas de tracao nas barras de embocadura.

2 - O deposito em questao pode ser de leque interno?

☐



pc = preenchimento de canal
ic = intercanais
be = barra de embocadura

lb = lobo
fl = franja de leque
pb = planície basial

Sim Não Duvida Resumo Tutor ? - Explicacao ESC - Encerra

Figura 4.2 - Exemplo de pergunta auxiliada por ilustração durante uma sessão de consulta com o GEOXPRT.

As respostas "sim", "não" e "duvida" são respostas de encaminhamento que garantem a sequência normal da interação. As respostas "?", "R", "T" e "ESC" são auxílios à perfeita compreensão do contexto e do que está sendo questionado.

Com as respostas "sim" ou "não" a interação segue normalmente com apresentação da próxima pergunta.

A resposta "duvida", quando fornecida a uma pergunta interpretativa, ou seja, que solicita uma informação que o usuário poderia ter obtido por dedução a partir de dados descritivos suspende temporariamente a

seqüência principal de perguntas e inicia uma série paralela (veja no item 5.2.4 - Tratamento dos Tipos de Informações). Nessa, são solicitados ao usuário os dados descritivos de Geologia que permitam ao sistema realizar uma inferência e obter a informação que o usuário não forneceu com exatidão.

Para realizar essa interação, a pergunta em questão é mantida na tela e aberta uma nova janela de interação no centro-inferior da tela. Nessa janela, o sistema apresenta ao usuário as questões e obtém suas respostas até atingir a conclusão desejada. Essa conclusão é mostrada na tela, é encerrada a sessão na janela inferior e o diálogo segue normalmente.

Se a pergunta a que o usuário respondeu "dúvida" for referente a um dado geológico descritivo normal, a interação segue normalmente como para as respostas "sim" e "não". Nesse caso, a resposta dúvida é considerada pelo sistema como simples ausência de observação, sendo irrelevante para atingir qualquer conclusão.

Caso o usuário forneça como resposta o ponto de interrogação "?", será mostrado um texto de explicação sobre o assunto da pergunta, buscando esclarecer porque a questão foi feita. Após a apresentação do texto, a pergunta é repetida para que o usuário forneça uma resposta "sim", "não" ou "dúvida".

O usuário pode solicitar um resumo da interação fornecendo a letra "R" como resposta. O sistema apresenta a frase: "Até o presente momento pode-se concluir:" seguida das conclusões parciais alcançadas. Essas conclusões são sempre afirmativas, ou seja, confirmam o modelo e são alcançadas pelo sistema quando o usuário responde "sim" a questões cuja informação é relevante para comprovar a hipótese de tratar-se de um depósito turbidítico. Se nenhuma conclusão foi alcançada até aquele ponto da consulta, o sistema irá responder: "Não há conclusões até o

Para encerrar a sessão sem passar por todas as perguntas, o usuário pode utilizar a tecla "ESC". Nesse caso, nenhuma conclusão é obtida ou considerada dessa seqüência de perguntas e o usuário retorna ao "Menu dos Conjuntos". Esse recurso é útil quando o usuário precisa refazer o diálogo para modificar respostas anteriores, ou quando ele pretende utilizar o sistema como um tutorial apenas, fazendo consultas parciais.

Um aspecto interessante do diálogo é o fato de que o sistema faz uma verificação de consistência das respostas do usuário. O banco de conhecimentos indica quais evidências não podem ser observadas em um mesmo local por representarem inconsistências geológicas. Caso o geólogo responda haver reconhecido duas evidências desse tipo, o sistema irá fazer uma advertência sobre um possível erro de observação, solicitando que modifique sua resposta. O usuário pode alterar sua última resposta ou mantê-la. Se a resposta for mantida, a inconsistência das observações será apresentada na conclusão da sessão.

Quando o usuário responde a última pergunta da seqüência do diálogo, o sistema automaticamente apresentará as conclusões obtidas naquela sessão. São apresentadas as conclusões parciais, a conclusão final e, no caso desta ser afirmativa (i.e., confirmar o modelo), o coeficiente de ajuste das respostas do usuário em relação ao modelo.

O coeficiente de ajuste indica o quanto o depósito estudado pelo usuário corresponde à descrição contida no banco de conhecimentos do sistema, ou seja, à descrição de cada uma das partes de um depósito turbidítico clássico como descrito por MUTTI (MUT 72) e DELLA FAVERA (inf. ver.). Um coeficiente de ajuste de 80 ou 90% obtido pelo usuário indica uma forte correspondência com o modelo, enquanto índices menores do que 60% já indicam uma falta de correlação entre as descrições do usuário e as do banco.

Após apresentar a conclusão, o sistema volta a

apresentar o "Menu dos Conjuntos", para que o usuário escolha um outro assunto e retorne ao diálogo. Após ter respondido as seqüências de perguntas em cada um dos assuntos, o usuário pode escolher através desse menu a opção "Avaliação final da sessão". Nessa avaliação, são apresentadas as conclusões obtidas para cada um dos assuntos do banco de conhecimento, bem como quais as que obtiveram maior adequação ao modelo.

O usuário pode obter diversos tipos de resultados finais. Se ele realmente esteve testando dados de um depósito turbidítico o sistema fornecerá, pelo menos, duas conclusões positivas: a de que a deposição ocorreu em água profunda (identificação do depósito) e de que uma das Associações de Fácies ocorre no local (classificação do depósito). O sistema poderá, às vezes, indicar a ocorrência de duas Associações de Fácies, porém uma das indicações terá um índice de acerto maior que a outra. Isso ocorre porque na natureza formam-se todas as fases intermediárias entre as divisões propostas pelo modelo, e estas, normalmente, têm características de uma e outra Associação de Fácies padrão.

Outra possibilidade de resultado final é de que o usuário só obtenha conclusão positiva no que se refere à profundidade da água, ou que as Associações de Fácies obtenham graus de acerto muito baixos. E o caso de depósitos turbidíticos que não se enquadram no modelo clássico e apresentam um fraco desenvolvimento das Associações de Fácies, não podendo ser descritos através desse modelo.

Caso o usuário não tenha comprovado tratar-se de um depósito de água profunda (conclusão negativa no assunto Profundidade do Ambiente de Deposição), então o depósito em questão NAO se trata de um depósito turbidítico. As demais conclusões devem ser todas negativas. Após avaliar a sessão, o usuário pode encerrar o sistema através da última opção do "Menu dos Conjuntos".

4.2 O Banco de Conhecimentos

O banco de conhecimentos do sistema contém o conjunto de características que compõem o modelo geológico para depósitos turbidíticos clássicos. Em outras palavras, o banco possui as informações que um Geólogo necessita para reconhecer um depósito turbidítico em uma bacia sedimentar analisando dados de geologia de superfície.

O modelo a ser utilizado foi proposto pelo especialista, o Geól. Jorge Carlos Della Favera, do Centro de Ensino e Pesquisa da PETROBRAS, utilizando a nomenclatura de descrição de litologias e estruturas de MUTTI e RICCI LUCCHI (MUT 72), baseado em fácies e associações de fácies. A partir desse modelo, que constitui a parte factual do conhecimento contido no banco, o especialista selecionou o conjunto de dados que deve constar na estrutura e seu interrelacionamento, segundo critérios de sua experiência pessoal, compondo a parte heurística do conteúdo do banco.

O modelo geológico para Depósitos Turbidíticos Clássicos foi dividido em cinco partes para compor o banco de conhecimento do sistema. São elas: "Profundidade do Ambiente de Deposição", "Associação de Fácies de Talude", "Associação de Fácies de Leque Interno", "Associação de Fácies de Leque Externo" e "Associação de Fácies de Planície Bacial". A primeira parte contém o conjunto de informações necessárias para estabelecer o contexto geológico que permite a ocorrência de turbiditos no local, ou seja, a identificação do ambiente de deposição dos sedimentos da área. As demais reconhecem a qual porção do depósito turbidítico correspondem as rochas presentes no local. A descrição do modelo geológico que foi codificado para compor o banco de conhecimento do GEOXPRT está integralmente descrito no Anexo 1 deste trabalho.

As informações do banco são estruturadas na forma de um grafo de espaços que constitui-se em uma

representação, através de nós e arcos, das relações entre as diversas evidências geológicas e a ordem em que serão indagadas ao usuário. Durante a interação, o usuário percorre este grafo, determinando os caminhos através de suas respostas.

O grafo de espaços pode ser considerado como um conjunto de regras da forma :

SE < Evidência E >
 ENTAO < Adicione X à probabilidade da Hipótese H >

Uma regra pode ser interpretada como " A presença da evidência E aumenta (ou diminui) em X a possibilidade de comprovar a hipótese H". A hipótese sempre se relaciona ao modelo ou alguma porção dele, enquanto o valor X está ligado à importância da presença de determinado dado geológico na comprovação do modelo.

Uma informação é composta de um ou mais objetos, seus atributos e as relações entre esses objetos, sendo que cada objeto, atributo ou relacionamento constitui uma evidência e representa um nó do grafo.

O banco de conhecimentos é composto, na verdade, de cinco grafos de espaços que agrupam informações sobre cada porção do modelo. Cada uma destas partes inclui os dados geológicos de uma parte do Modelo de Turbiditos ou do contexto de geologia para permitir a ocorrência do depósito.

A descrição da forma de representação dos grafos de espaços é dada no próximo item.

4.2.1 A Linguagem de Representação Externa

O conhecimento relativo ao modelo geológico é codificado em arquivos externos, independente da estrutura do próprio programa. No momento da execução, uma rotina de

análise gramatical lê estes arquivos e converte seu conteúdo para a forma da representação interna.

A Linguagem de Representação Externa do Sistema GEOXPRT foi inspirada naquela utilizada para o Sistema PROSPECTOR /DUD 81/ e, posteriormente pelo MuPROSPECTOR /MCC 83 e 84a/, e baseia-se em unidades de informação chamadas espaços. Cada espaço corresponde a um nó do grafo de espaços e codifica todos os dados a respeito desse nó, ou seja, a informação ou parte dela que o nó representa, o contexto dessa informação, o peso dela em relação a comprovação do modelo e a interligação de cada nó com os demais nós do grafo. (Figura 5.4 - um grafo de espaços.)

Os espaços, por sua vez, são agrupados em conjuntos. Cada conjunto constitui um arquivo externo independente, codificado na linguagem de representação externa. Estes arquivos são lidos pelos procedimentos de controle que criam as estruturas internas que lhes correspondem e que serão utilizadas durante a interação.

Os conjuntos são tratados quase como bancos de conhecimentos independentes e podem ser incluídos no banco em qualquer número. No caso específico do modelo para Turbiditos, o banco contém cinco conjuntos, que correspondem às quatro divisões espaciais do modelo mais os dados geológicos relativos ao contexto da ocorrência, ou seja, o ambiente de deposição. Esta divisão é resultado da própria separação natural do modelo geológico em blocos de informações. Além disso, facilita a interação, ao separar grandes volumes de informações em seqüências menores.

Um conjunto do banco de conhecimentos possui um espaço inicial para introdução do assunto que será tratado pelo conjunto, um número variável de espaços intermediários e um espaço final de conclusão.

Cada espaço tem a forma:

espaço	< nome do espaço >
introd	< texto de introdução ao assunto do espaço >
ques	< texto da pergunta sobre o assunto do espaço >
expl	< texto de esclarecimento sobre a pergunta >
resum	< texto da conclusão parcial associada à pergunta >
graf	< nome do arquivo externo contendo a ilustração da pergunta >
flag	< nome dos espaços com informações contraditórias em relação à tratada neste espaço >
sim	< peso da informação ou nome do próximo espaço >
não	< peso da informação ou nome do próximo espaço >
d	< peso da informação ou nome do próximo espaço >
prox	< nome do próximo espaço >

Os termos em **negrito** constituem palavras-chave para a linguagem de representação externa. Apenas **espaço**, **ques**, **expl**, **sim**, **não** e **d** devem obrigatoriamente aparecer em todos os espaços. As demais servem como recursos auxiliares à complementação da informação.

A palavra **espaço** associa-se um nome, normalmente um mnemônico em relação ao assunto tratado por aquele espaço. Esse nome servirá como referência ao conteúdo do espaço na representação interna.

A palavra **ques** tem associada uma pergunta objetiva a respeito do assunto representado no espaço, e que admite resposta "sim" ou "não".

A palavra **expl** contém um texto de esclarecimento da pergunta, para o caso de o usuário não tê-la compreendido perfeitamente ou uma explicação de porque a pergunta foi formulada.

A **resum** é associada uma conclusão que pode ser obtida a partir de uma resposta "sim" dada à pergunta do espaço. Este texto será apresentado, juntamente com os de

outros espaços anteriormente percorridos, quando o usuário solicitar um resumo da sessão até aquele ponto

A palavra *graf* guarda o nome do arquivo que contém a ilustração do assunto da pergunta. A figura busca complementar a informação solicitada pela questão e é criada pelo editor gráfico do sistema.

Ao termo *flag* são associados os nomes dos espaços cujas informações são contraditórias em relação à resposta "sim" da pergunta do espaço. O sistema examina as respostas obtidas do usuário, verificando inconsistências de dados geológicos.

As palavras *sim*, *não*, *d* e *prox* correspondem às saídas do espaço (ou arcos do grafo de espaços), ou seja, guardam o nome do possível próximo espaço a ser analisado. As respostas do usuário definem qual dos arcos será percorrido.

A *sim* e *não* são associados o peso relativo (isto é, a importância relativa) da presença ou ausência da evidência perguntada, ou o nome do próximo espaço a ser questionado. O grau de acerto das respostas do sistema deve-se em grande parte aos pesos associados às evidências geológicas consideradas no banco de conhecimento. Esses pesos têm seus valores entre -5 e 5 e são fornecidos pelo especialista, com base em critérios pessoais que indicam o quanto uma determinada feição é "diagnóstica" em relação ao que se procura provar. Posteriormente, os valores são empiricamente ajustados pelo engenheiro de conhecimento para garantir que a distribuição de pesos é válida para todos os caminhos do grafo de espaços, e garantir a validade das conclusões.

A *d*, que corresponde à resposta "dúvida" ou "não sei" do usuário é associado o peso zero ou o nome do próximo espaço. Quando a pergunta questiona uma informação interpretativa, que deve necessariamente ser resultado de dedução por parte do usuário sobre um conjunto de dados

descritivos que ele tenha observado no campo, à saída d é associado o nome de um subespaço. O subespaço tem a mesma estrutura de um espaço normal, apenas que ele integra um subárvore de inferência a ser percorrida em uma sequência de perguntas paralela a sessão principal. Essa subárvore busca verificar aquela informação específica, que pode ser obtida a partir de dados descritivos de campo e à qual o usuário respondeu com "dúvida". A descrição dos tipos de informações e os respectivos tratamentos para codificação são dados no Capítulo 5.

A palavra prox guarda o nome do próximo espaço quando às respostas "sim", "não" e "dúvida" é associado um peso em relação à hipótese. Caso as três respostas tiverem nomes de espaços associados, a presença da palavra-chave prox é desnecessária.

O último espaço de cada conjunto tem a forma:

```

espaço  ULTIMO
max      < soma máxima de pesos no melhor caminho do grafo >
min      < valor acumulado mínimo necessário para comprovar
          a hipótese >
conclpos < texto com a conclusão positiva associada ao
          conjunto >
conclneg < texto com a conclusão negativa associada ao
          conjunto >
FIM

```

O termo espaço ULTIMO indica ao sistema tratar-se de um nó terminal do grafo, onde estão associadas as conclusões da interação.

A palavra max contém o valor que pode ser obtido pelo contador de pesos das respostas e que corresponde a um ajuste de 100% das respostas do usuário em relação ao modelo geológico. Esse valor é utilizado para calcular a percentagem de adequação das respostas do usuário ao modelo ao percorrer os espaços de um determinado conjunto.

A `min` é associado o valor mínimo que deve ser acumulado naquele determinado conjunto, para o usuário obter uma conclusão positiva em relação à hipótese.

Conclpos contém o texto de confirmação da hipótese a ser apresentado ao usuário, caso ele tenha somado com suas respostas um valor superior a `min`. Juntamente com o texto da conclusão positiva, são apresentadas as conclusões intermediárias (as frases associadas a `resum`) e a percentagem de ajuste das respostas do usuário em relação ao modelo. Se o valor somado pelas respostas do usuário for inferior a `min`, é apresentado o texto da conclusão negativa associado a `conclneg`.

A palavra `FIM` assinala para a estrutura de controle o final do arquivo externo. Qualquer informação adicionada ao banco após esta palavra não será incluída na representação interna.

4.2.1.1 A Representação Externa das Ilustrações

Os arquivos de ilustrações associados à palavra-chave `graf` dos espaços são reconhecidos pela extensão `".grf"` na lista de arquivos do banco de conhecimento.

São arquivos armazenados como texto (código ASCII) assim como os outros arquivos que compõem o banco de conhecimento e possuem a seguinte estrutura.

POLIGONAL

```
X      Y
X1     Y1
...
Xn     Yn
999    999
Xn1    Yn1
Xn2    Yn2
...
999    999
```

```

RETA
Xm1 Ym1
Xm2 Ym2
...
PONTO
Xo1 Yo1
Xo2 Yo2
...
LEGENDA
Xt1 Yt1 "<legenda1>"
Xt2 Yt2 "<legenda2>"
...
FIM

```

Os desenhos são compostos de retas e pontos apenas, atendendo às limitações da linguagem de programação LISP usada. As retas podem compor poligonais fechadas ou não, ou aparecerem isoladas. Os arquivos ".grf" contêm a lista de coordenadas de tela (endereço de pixels no monitor em alta resolução) que compõem o desenho.

A palavra POLIGONAL seguem-se as coordenadas em X e Y que formam cada poligonal do desenho. As poligonais são terminadas a cada valor 999 999 encontrado no arquivo, iniciando outra nas próximas coordenadas encontradas.

A palavra RETA seguem-se as coordenadas das retas do desenho, desenhadas a cada duas coordenadas. Após a palavra PONTO, inicia a lista de coordenadas de pontos do desenho.

A palavra LEGENDA inicia a lista de legendas incluídas no desenho. As palavras são indicadas por duas coordenadas X e Y que indicam a coluna e a linha onde começa a ser escrita a legenda, seguida pelo texto da mesma.

Estes arquivos são lidos no momento da leitura dos conjuntos e convertidos para a forma da estrutura interna correspondente, para serem apresentados ao usuário no momento da interação.

4.2.2 Forma de Organização dos Espaços

a) Espaços com uma saída associada a prox:

Perguntam por dados descritivos de geologia relevantes em relação à hipótese. As respostas do usuário modificam o valor do contador de pesos das evidências, incrementando-o ou decrementando-o, conforme a evidência seja positiva ou negativa. Estes espaços determinam seqüências lineares do grafo de espaços onde nenhuma pergunta é excluída da interação (Figura 4.4).

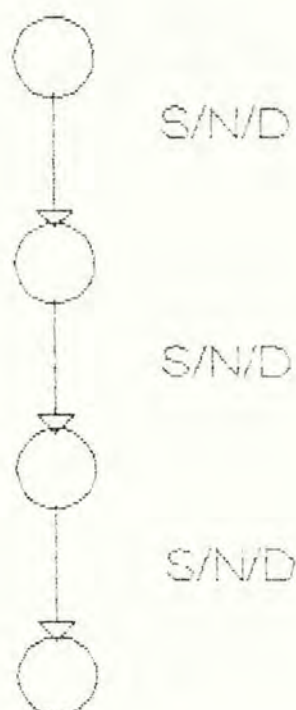


Figura 4.4 - Grafo de espaços para espaços com uma saída.

b) Espaços com duas saídas, uma associada a uma subárvore de inferência:

Perguntam por informação interpretativa relevante em relação à hipótese. Como estas informações podem ser

obtidas a partir de dados descritivos de geologia, caso o usuário não souber responder acertadamente (responder com "dúvida") o sistema buscará a resposta através de uma interação baseada em dados mais simples. Ao obter a resposta, a interação continua com o espaço associado à outra saída do nó (Figura 4.5).

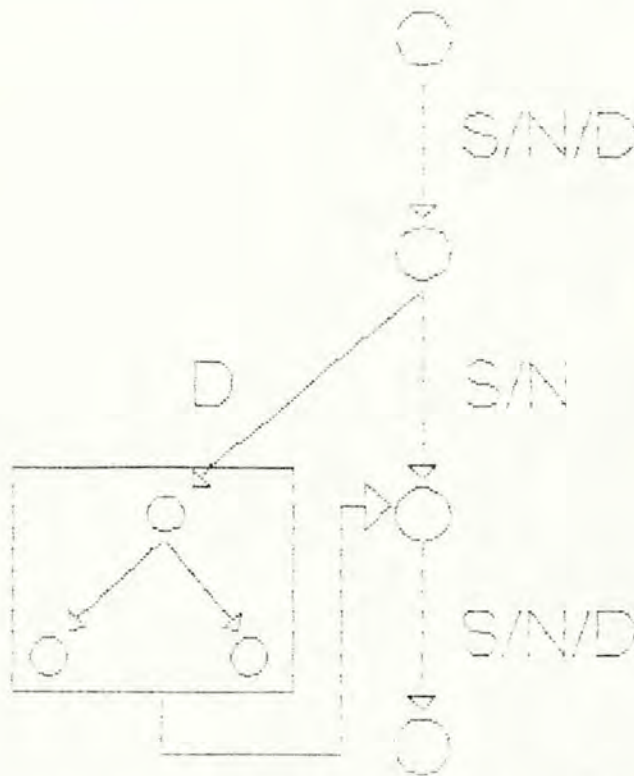


Figura 4.5 - Grafo de espaços para espaços com duas saídas, uma associada à árvore de inferência.

c) Espaços com duas saídas e uma resposta com peso:

Iniciam uma seqüência curta de perguntas sobre uma única informação. O primeiro espaço possui um peso associado à confirmação da existência de um objeto e encaminha para uma seqüência de perguntas que testam seus atributos e relações. Caso não for confirmada a presença do objeto, as demais perguntas são desviadas através de uma saída distinta (Figura 4.6).

d) Espaços com duas ou três saídas:

Não codificam dados geológicos. São utilizados para encaminhamento da interação, ou para desviar sequências de perguntas sobre as quais o usuário não possui informação. Estes espaços normalmente não possuem pesos associados às respostas e também não possuem a saída prox (Figura 4.7).

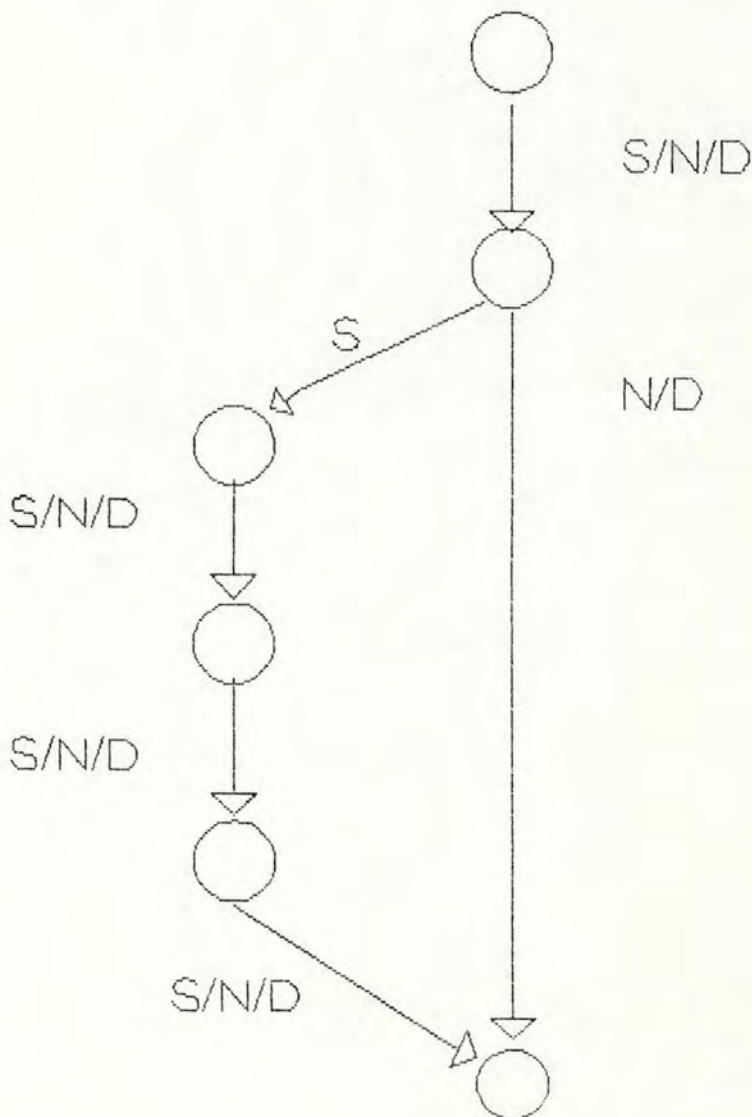


Figura 4.6 - Grafo de espaços para espaços com duas saídas e uma resposta com peso.

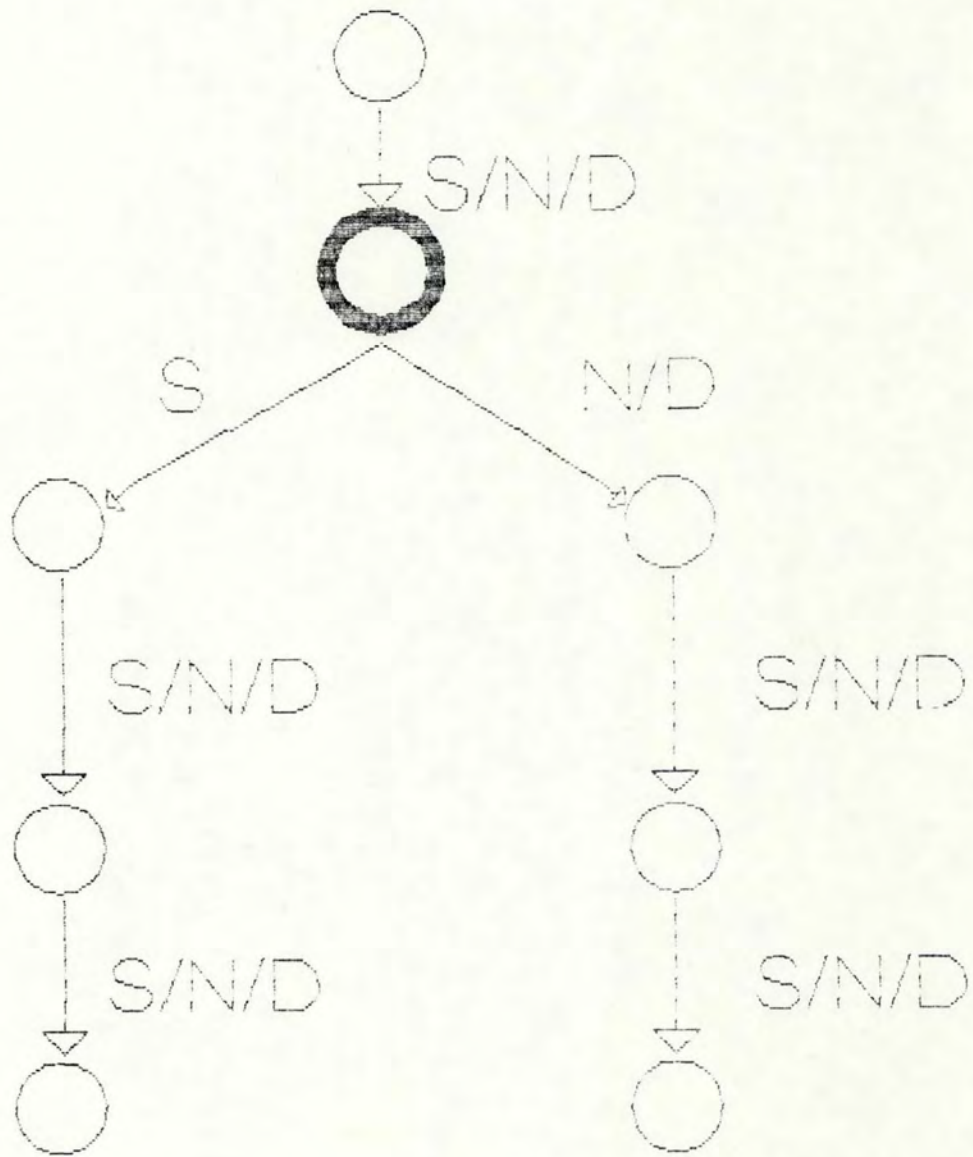


Figura 4.7 - Grafo de espaços para espaços com duas saídas.

4.3 A Estrutura de Controle

A estrutura de controle do GEOXPRT foi implementada em LISP para microcomputadores compatíveis com IBM-PC. Inicialmente, foi utilizado o mecanismo de controle do Sistema MuPROSPECTOR /MCC 83 e 84a/ desenvolvendo um banco de conhecimento dirigido a turbiditos. Como essa estrutura não atingia os requisitos mínimos para tratar com o tipo de conhecimento de Geologia Sedimentar, optou-se por implementar um novo mecanismo com mais recursos.

O mecanismo consiste de um laço que percorre o grafo de espaços e comanda a interação com o usuário, sendo independente da aplicação. Essa estrutura trabalha com qualquer banco de conhecimento que seja codificado utilizando o formato da Linguagem de Representação Externa e a divisão em conjuntos, não importa qual o assunto abordado.

A forma de inferência implementada através da estrutura de controle busca imitar o raciocínio seguido por um geólogo ao analisar dados de campo. O sistema, para abranger uma comunidade maior de usuários, deve tratar com dados sedimentológicos primários, que não exijam muita interpretação por parte do geólogo para fornecê-los, preferencialmente bem caracterizados através de explicações e ilustrações. Por essas qualidades, esses dados não são conclusivos individualmente.

Um conjunto de fatos verificados pode fornecer uma conclusão parcial, mas dificilmente um único fato o faria. Dados isolados são indícios de uma conclusão, podem levar a consideração de alguma hipótese, mas um número razoável de fatos verificados permitem afirmar a conclusão com algum grau de certeza.

Ou seja, os fatos sedimentológicos observados se adicionam, e juntos permitem confirmar hipóteses com tanta certeza quanto o número de dados observados (positivos ou negativos). Este mecanismo de raciocínio foi considerado para desenvolver a estrutura de controle do Sistema GEOXPERT.

Basicamente, o sistema apresenta na tela a pergunta relativa ao espaço e sua ilustração (se houver), lê a resposta do usuário e busca o próximo espaço da sequência. Conforme a resposta obtida, é incrementado ou decrementado um contador com o peso associado à resposta. Fatos mais relevantes têm maiores pesos associados à sua confirmação, logo, têm maior influência sobre a confirmação da hipótese. O valor do contador é utilizado para calcular o grau de certeza da conclusão.

Quando a interação atinge o espaço de conclusão do conjunto, é encerrado o laço de interação. O módulo de avaliação do programa verifica se o conjunto de respostas do usuário confirmou a porção do modelo geológico (ou seja, a hipótese parcial) relativa ao conjunto que está sendo avaliado e em que grau. Se o modelo foi confirmado, o sistema apresenta a lista de conclusões parciais e a conclusão final afirmativa associada ao conjunto, além da percentagem de adequação das informações do usuário com o modelo geológico. Se os dados do usuário não se ajustam com a descrição do banco de conhecimentos, o módulo de avaliação apresenta a conclusão negativa associada ao conjunto.

Após avaliar todos os conjuntos (ou apenas alguns deles), o usuário pode solicitar, a partir do Menu dos Conjuntos, a avaliação final da sessão. São apresentadas as conclusões obtidas na sessão com as respectivas percentagens de acerto.

A estrutura de controle pode ser resumida por:


```

Inicialização de variáveis e estrutura de dados
Apresentação do sistema
Carga do arquivo com a introdução ao banco de conhecimento
Apresentação do assunto do banco
LOOP
  Carga do arquivo de conjunto
  Carga dos arquivos de desenhos do conjunto
  Apresentação do assunto do conjunto
  Diálogo
  LOOP
    Apresenta pergunta
    Lê resposta
    Trata resposta: Explica (ou)
                   Mostra resumo (ou)
                   Mostra tutorial (ou)
                   Trata dúvida :
                               LOOP
                                 Apresenta pergunta
                                 Lê resposta
                                 Trata resposta
                                 Conclusão da subárvore
                               Volta ao início (ou)
                               Encaminha para próximo espaço
  Conclusão do conjunto
Conclusão do banco
Encerra

```

4.4 Módulos Auxiliares na Confeção do Banco

Para a construção do modelo geológico na forma da Representação Externa são necessários dois sistemas auxiliares: um editor de texto e um editor gráfico.

O editor de texto pode ser representado por qualquer dos editores existentes no mercado, desde que utilizados em uma forma de edição que não contenha caracteres especiais, além das letras do alfabeto, caracteres gráficos e algarismos.

O editor gráfico do Sistema GEOXPRT foi desenvolvido especialmente para a criação dos desenhos que ilustram as perguntas do sistema, na forma de esquemas, representação de estruturas, relações espaciais de litologias e correlações estratigráficas.

Como as ilustrações, na maior parte dos casos, constituem-se de desenhos livres, não-geométricos, criou-se a necessidade de utilizar os recursos de uma mesa digitalizadora para a confecção dos mesmos.

O editor gráfico foi desenvolvido em linguagem de programação PASCAL utilizando-se de recursos de Computação Gráfica e programação convencional. Tem como função ler as coordenadas que compõem o desenho a partir da mesa digitalizadora, convertê-las para coordenadas gráficas de tela e armazená-las em arquivo, segundo as formas da Representação Externa. Cada desenho relativo a uma pergunta resulta em um arquivo externo correspondente, identificado por uma extensão ".grf" associada ao nome. Posteriormente, as rotinas gráficas da Estrutura de Controle do sistema lêem estes arquivos e convertem-nos para a representação interna.

CAPITULO 5

5 ETAPAS NA AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

A tarefa de representar o conhecimento geológico em uma forma computável corresponde ao produto final de um complexo processo de observação de fatos, compreensão da realidade, formalização do conteúdo apreendido e codificação em uma forma matematicamente utilizável. O produto final deve conter toda informação originalmente observada, bem como as interpretações associadas.

As primeiras etapas de observação, interpretação e formalização correspondem ao próprio processo de compreensão da natureza. São tarefas realizadas pelo pesquisador em Geociências na elaboração do "modelo geológico".

Uma vez formalizado o conjunto de observações através de um modelo geológico, o passo seguinte consiste na codificação do modelo na forma da lógica de símbolos. É a tarefa do engenheiro de conhecimento. A figura 5.1 ilustra as etapas da codificação do conhecimento. Cada uma dessas etapas será melhor explicada nos próximos tópicos.

5.1 Construção do Modelo Geológico: Fácies e Modelo de Fácies

a) Fácies

O termo "fácies" é utilizado na Geologia como um auxiliar na descrição e interpretação de unidades litológicas ou estratigráficas. Corresponde à soma total das características litológicas, estruturais e paleontológicas que identificam e distinguem uma determinada unidade (WAL 84).

ETAPAS NA CODIFICAÇÃO DO CONHECIMENTO

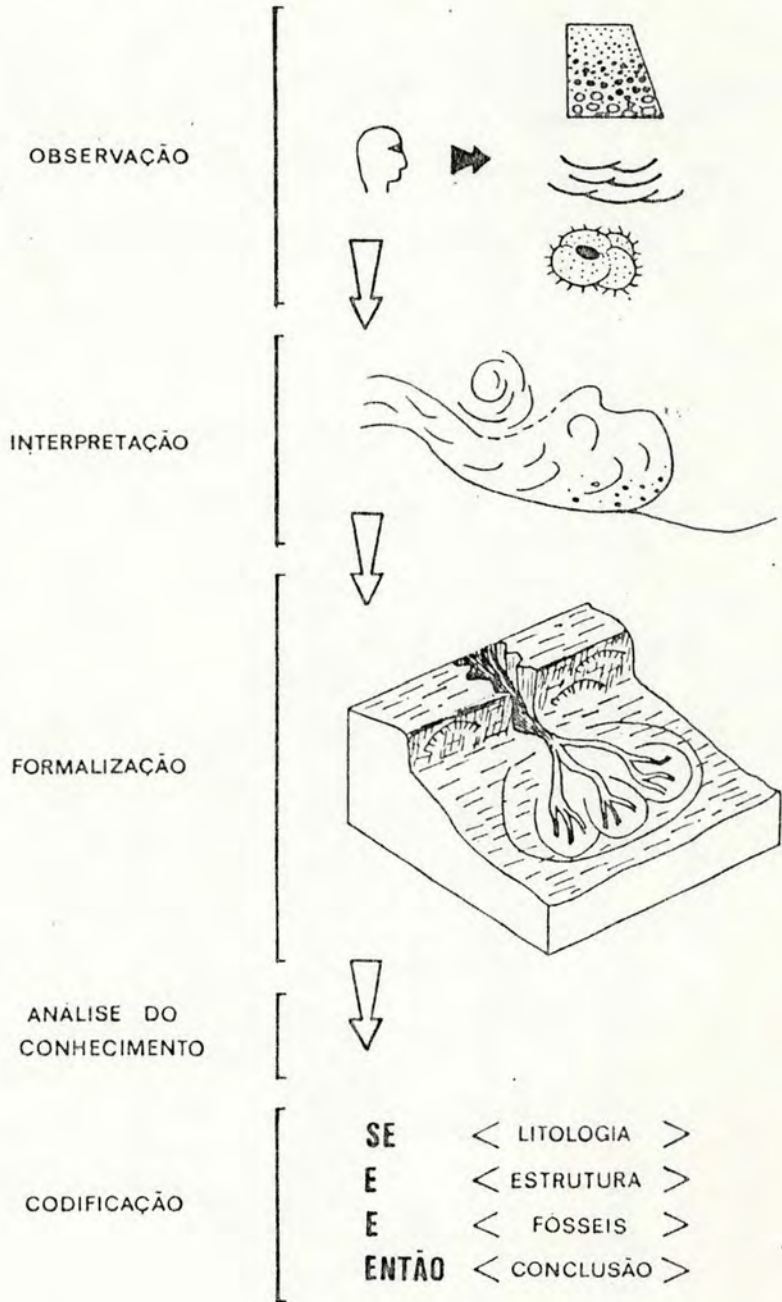


Figura 5.1 - Etapas na codificação do conhecimento.

A expressão pode ter sentido puramente descritivo como, por exemplo, " fácies carbonática" (unidade composta por rochas de composição carbonática) ou interpretativo, como " fácies fluvial" (pacote de rochas considerado como tendo origem fluvial). A própria fácies fluvial é composta de uma fácies de canal, uma fácies de planície de inundação, etc, que implica a interpretação da origem mais específica de cada porção de um sistema fluvial. Ou seja, o termo " fácies" corresponde a individualização de uma porção dentro de um todo, seja por critérios puramente descritivos ou interpretativos, ou por características mais gerais ou restritas.

b) Modelo de Fácies

Um modelo de fácies pode ser definido como um sumário geral de um ambiente sedimentar específico (WAL 84). É definido em termo das fácies que o compõem, seus relacionamentos, e dos processos físicos ou sedimentares que as geraram.

A descrição de um modelo de fácies é feita por meio de seqüências idealizadas de fácies, blocos diagramas, grafos, equações ou descrições textuais.

O princípio de construção de um modelo de fácies assume o exame de diversos exemplos locais. Se é possível observar um número suficiente de turbiditos modernos no local da deposição e estudar turbiditos antigos reconhecidos em estudos de campo, então teremos conhecimento suficiente para estabelecer algumas regras gerais a respeito da forma de ocorrência de turbiditos. Naturalmente, o raciocínio é válido para qualquer outro ambiente.

O processo de extrair a informação geral que compõe o modelo geológico compreende diversas fases, aqui exemplificadas para o caso específico de turbiditos.

CONSTRUÇÃO E USO DE UM MODELO DE FÁCIES

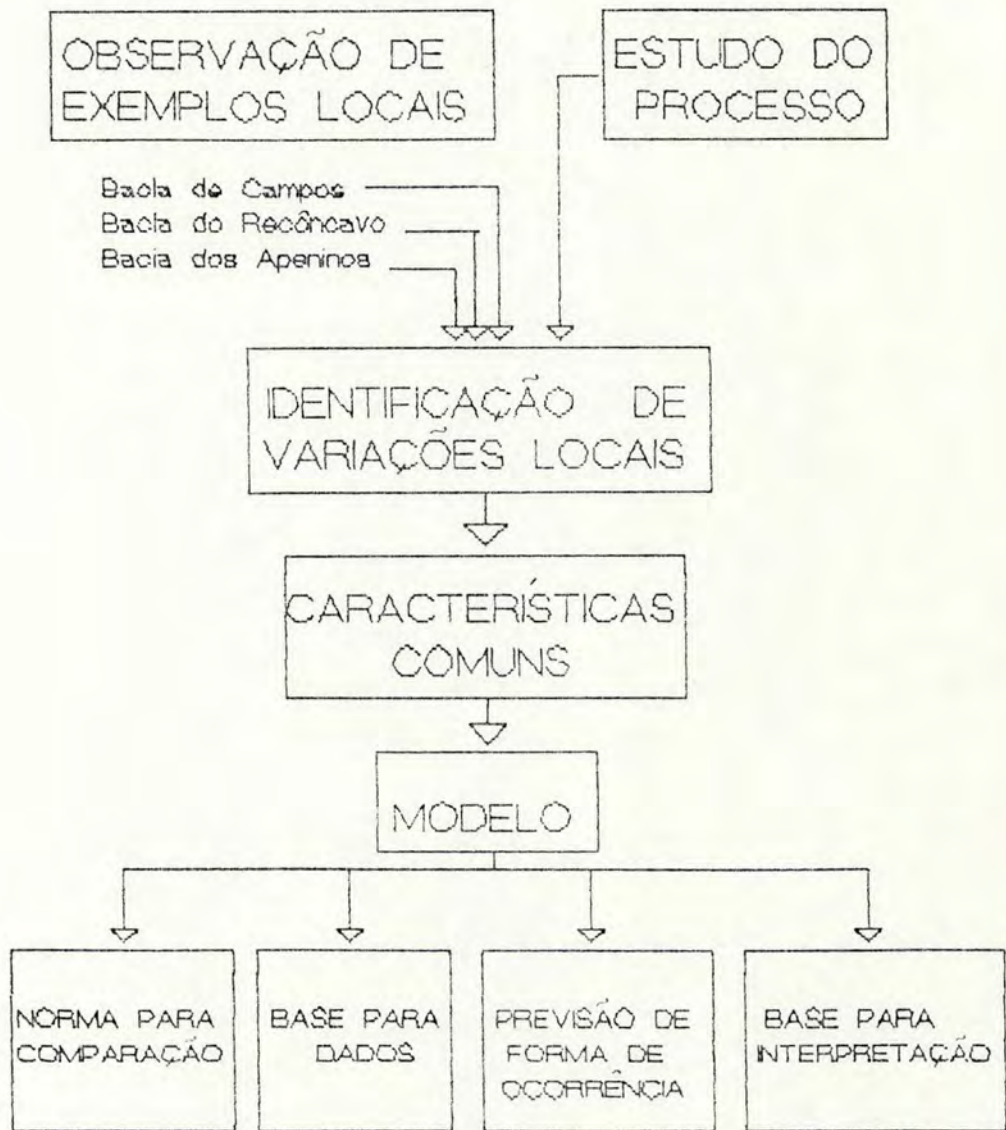


Figura 5.2 - Construção e uso de um modelo de fácies, usando turbiditos como exemplo.

5.1.1 Estudo de Exemplos Locais

São estudadas seqüências turbidíticas antigas, depositadas em outras épocas geológicas e, hoje, aflorando em áreas de bacias sedimentares. Por exemplo, as ocorrências de turbiditos na Bacia de Campos, Bacia do Recôncavo ou nos Apeninos Setentrionais da Itália. São observadas a seqüência litológica (tipo de rochas que compõem o depósito), suas relações, as estruturas sedimentares e presença de fósseis.

Observam-se ainda ocorrências de turbiditos recentes através de estudos de fundo marinho. É identificado o processo de deposição - as correntes de turbidez - e como este processo atua no aspecto final do depósito.

5.1.2 Filtragem da Variação Local

Tendo-se coletado um número significativo de ocorrências locais, é realizado um estudo de modo a extrair as características comuns a todos esses depósitos e quais são aquelas que resultam de variações locais.

A essência da construção do modelo geológico é identificar as características relevantes comuns ao conjunto de ocorrências, e que realmente são resultantes do processo que gerou o depósito. Essa tarefa envolve experiência, julgamento, conhecimento e um consenso entre sedimentologistas.

Os erros mais comuns desse processo são a generalização de características locais (por exemplo, os turbiditos dos Apeninos não preservam depósitos de canal, logo os depósitos de água profunda que apresentam estruturas de canal não correspondem a turbiditos). Há ainda a não compreensão de resultados ligados ao processo (não se preservam fósseis calcários abaixo do nível de

compensação da calcita, no entanto a rápida deposição de correntes de turbidez permite a preservação de fósseis calcários sob condições de pressão e temperatura onde o carbonato permanece solubilizado, desse modo podem ocorrer fósseis com testa calcária abaixo do nível de compensação da calcita).

Quanto maior o número de exemplos e amostras, maior a confiabilidade do modelo proposto. Assim, a formalização de um tipo de ocorrência geológica através de um modelo resulta de um vasto estudo de numerosos exemplos de depósitos similares, que permite identificar as semelhanças entre eles e reconhecer as características resultantes de variações locais. Mesmo após ter sido definido, o modelo sofre continua reavaliação e freqüentes modificações causadas pelo estudo de novas ocorrências.

5.1.3 Utilização do Modelo de fácies

O modelo de fácies, estabelecido e aceito pela comunidade geológica, cumpre quatro funções específicas (WAL 84):

a) Atua como uma norma com a qual exemplos individuais podem ser comparados. Desse modo, os exemplos locais podem ser melhor compreendidos e suas diferenças reconhecidas a partir da comparação com o modelo.

Por exemplo, o fato de os turbiditos da Bacia de Campos não apresentarem a franja de leque proposta no modelo, leva a realização de novas observações ou a rever o processo deposicional para compreender esta variação local.

b) Estabelece uma base para futuras observações. Se o modelo contém todos os aspectos importantes ligados a depósitos turbidíticos, o geólogo sabe que tipo de informações devem ser registradas quando trabalha com novas ocorrências.

c) Permite prever a forma da ocorrência a partir de um conjunto de dados limitados. Desse modo, é possível inferir a geometria de um reservatório de hidrocarbonetos em subsuperfície, onde não é possível a observação direta dos dados.

d) Fornece a base para interpretação hidrodinâmica da deposição. A compreensão do processo físico de sedimentação permite antecipar as variações locais das ocorrências, formando melhores critérios para previsão.

O modelo de leque submarino para deposição de turbiditos foi utilizado para este trabalho por ser razoavelmente bem compreendido e possuir um conjunto de descrições de fácies bastante detalhado, em relação a outros ambientes deposicionais.

Um outro exemplo de modelo geológico é aquele utilizado por MILLER /MIL 86/ para a construção do Sistema MuPETROL. O esquema de classificação de bacias sedimentares de KLEMME, H.D. 1975 e 1983 apud /MIL 86/ cumpre as mesmas funções do modelo geológico como proposto por WALKER (op.cit.) e apresentado neste trabalho. O sistema MuPETROL e o esquema de KLEMME são descritos no item 2.3.

O modelo utilizado para o Sistema GEOXPRT foi aquele proposto por MUTTI e RICCI LUCCHI /MUT 72/, com contribuições de WALKER e MUTTI /WAL 73/ e adaptado por DELLA FAVERA (inf. verbal) para este trabalho. Como utilizado aqui, o modelo não considera as variações temporais na deposição de um leque, como, por exemplo, alterações de nível do mar entre os episódios de deposição e seus resultados na acumulação do depósito. O leque submarino é considerado como um todo, ignorando-se os diferentes tempos de deposição de cada porção, sendo analisadas as relações entre fácies e subambientes.

A integral do modelo e descrição das fácies são apresentados no Anexo 1.

5.2 Análise do Modelo Geológico para Utilização pelo Computador

Tendo o especialista definido qual o formato final do modelo geológico que deverá ser utilizado, inicia a tarefa do engenheiro de conhecimento. Naturalmente, nem sempre a Geologia é expressa em termos de modelos formalizados e bem definidos como é o caso do Modelo de Mutti utilizado para este trabalho. O especialista, no entanto, sempre possui um modelo próprio para sumarizar um tipo de ocorrência geológica e que ele irá utilizar como uma ferramenta de trabalho.

Além do modelo propriamente dito, que compõe o conhecimento factual, há um outro conjunto de informações subjetivas, na forma de regras empíricas, que são resultado de sua experiência pessoal e que orientam seu trabalho.

Diversas etapas compõem a tarefa do engenheiro de conhecimento até a obtenção de um banco de conhecimentos. Essas etapas serão descritas nos próximos tópicos.

5.2.1 Estudo do Modelo Geológico

A etapa inicial exige necessariamente uma pesquisa elaborada a respeito do assunto. Isso pode ser realizado através de estudos bibliográficos em material recomendado pelo especialista, cursos e trabalhos de campo.

Um certo conhecimento do assunto e das descrições técnicas pelo engenheiro de conhecimento é fundamental para permitir o diálogo com o especialista e a definição de critérios para a confecção do banco de conhecimentos.

5.2.2 Estabelecimento de Critérios

A fase imediatamente anterior ao início da confecção do banco de conhecimento refere-se ao estabelecimento dos critérios que irão orientar a elaboração do sistema.

Devem ser definidos:

a) que tipo de problema o sistema deve resolver para o usuário;

b) qual o tipo de usuário para o qual o sistema é dirigido;

c) qual o conhecimento geológico mínimo exigido para o usuário interagir com o sistema;

d) que nível de "transparência" o sistema deve manter em relação ao seu funcionamento, as informações envolvidas e ao desenvolvimento do raciocínio.

No contexto deste trabalho, o usuário a quem o sistema se dirige é um geólogo com bons conhecimentos em Geologia Sedimentar, que é a área da Geologia que estuda Ambientes e Sistemas Depositionais. Desta forma, o sistema não deverá conter explicações sobre conceitos básicos desse assunto, como fácies sedimentares, tipos de estruturas e texturas de rochas clásticas (exceto as incomuns) entre outros, que compõem o conhecimento mínimo da área.

O usuário, no entanto, não necessita possuir conhecimento prévio sobre turbiditos, além da própria definição e ambiente provável de ocorrência. As demais informações referentes a depósitos turbidíticos, como associações de fácies, distribuição espacial da litologia e estruturas, serão subsidiadas pelo sistema ao longo da interação.

O tipo de problema a ser resolvido pelo sistema refere-se à identificação e classificação de um depósito

turbidítico, se ele existir, em uma determinada área onde o usuário acredita que possa conter depósitos deste tipo.

O sistema pode sofrer uma degradação em seu funcionamento tanto mais distinta seja a ocorrência em relação aquela que ele busca classificar. Ou seja, o sistema parecerá menos inteligente se a área a ser pesquisada corresponder a um depósito fluvial de ambiente continental, do que a qualquer sistema de ambiente marinho, mesmo que este último não contenha turbiditos.

Essa forma de resolver o problema, ou seja, buscar informações por um processo dirigido ao objetivo, foi estabelecida de modo a permitir que o sistema contivesse conhecimento realmente especializado e em quantidade suficiente para resolver um problema real. A tentativa de descartar outras possibilidades de depósitos muito diferentes daquele em estudo levaria à análise de uma combinação infinita de características. Assim, o sistema baseia-se na confirmação de um determinado modelo, antes do que na análise das possibilidades de qual tipo de ocorrência o usuário apresenta.

Partindo-se do princípio de que o sistema é um confirmador de uma hipótese, a transparência do raciocínio utilizado é um recurso fundamental da interação. A informação fornecida pelo sistema permite ao usuário estabelecer julgamentos próprios para avaliar as possibilidades não previstas pelo sistema.

5.2.3 Análise do Conhecimento

A Geologia é uma ciência essencialmente sistêmica, ou seja, existe um estado de interrelação e interdependência essencial de todos os fenômenos que a influenciam <DEL 88>. Os dados que a compõe não podem ser analisados isoladamente, já que as conclusões obtidas dessas informações são diferentes para a unidade e para o

conjunto. É necessário estabelecer o contexto em que a informação se encontra e garantir a manutenção desse contexto a cada subdivisão do problema. Essas idéias podem ser compreendidas através da "Teoria Geral do Sistemas" de von Bertalanffy, 1968 apud /DEL 88/.

Se a Geologia compõe um sistema e, ainda assim, comporta-se como um subsistema em relação à Ciência como um todo, também suas subdivisões são subsistemas, todos relacionados entre si e limitados pelo contexto que os abrange. No estudo da Estratigrafia de Sequências Sedimentares, essa hierarquia pode ser acompanhada recursivamente em sistemas de menor ordem até a camada que é sua unidade e limite inferior /DEL 84/.

Para o propósito deste trabalho o sistema de maior ordem é o depósito turbidítico. A tarefa de identificá-lo pode ser resumida em reconhecer as condições necessárias para que o depósito se desenvolva (de certo modo, isso corresponde a relacionar o sistema "Depósito Turbidítico" a um outro de maior ordem) e identificar cada uma de suas partes componentes. Temos assim cinco subproblemas, correspondendo às cinco divisões do modelo geológico:

- a) A identificação de um ambiente de água profunda;
- b) o reconhecimento de uma Associação de fácies de Talude;
- c) o reconhecimento de uma Associação de fácies de Leque Interno;
- d) o reconhecimento de uma Associação de fácies de Leque Externo;
- e) o reconhecimento de uma Associação de fácies de Planície Bacia.

O primeiro item é o que estabelece o contexto para a existência de um sistema turbidítico e determina a possibilidade de ocorrer um depósito desse tipo na área estudada. Turbiditos são depósitos de água profunda marinhos ou lacustres, uma vez que são os únicos ambientes que permitem a preservação das fácies originadas por correntes de turbidez. Por outro lado, os turbiditos compõem o único depósito expressivo em zonas de grande profundidade de água (Não consideraremos aqui o caso dos contornitos, que introduzem novos conceitos em sistemas turbidíticos, como descrito em BARROS et alii, 1982 apud <DEL 82/>).

Uma vez estabelecido o contexto descrito no primeiro item (determinar a zona de deposição como sendo de água profunda), o trabalho seguinte é determinar quais as associações de fácies que se preservaram no depósito em questão. As associações presentes determinam a classificação final do depósito.

Com base nesses critérios, a organização do banco de conhecimento seguiu algumas regras básicas:

a) fornecer antecipadamente ao usuário a descrição do modelo geológico das Associações de Fácies a que ele se referir, de modo a esclarecer as informações que serão solicitadas;

b) para a organização do banco, as primeiras informações questionadas são aquelas que estabelecem o contexto, ou seja, que definem o ambiente da ocorrência geológica;

c) a ordem de organização das informações inicia pelas porções mais proximais do depósito, dirigindo-se para as distais. Ou seja, são questionadas características que ocorrem mais próximas a área de aporte dos sedimentos até aquelas mais distantes;

d) as informações que contradizem o modelo são acrescentadas sempre no final dos assuntos a que se referem. São incluídas para garantir a validade das conclusões obtidas, pois testam a presença de dados que, quando observados garantem que não se trata do modelo proposto.

5.2.3.1 Subdivisão do Problema

Cada uma das cinco subdivisões do Modelo Geológico referidas anteriormente corresponde a um subsistema do sistema maior "Depósito Turbidítico". Elas são aqui relacionadas cada uma a um conjunto de informações e tratadas separadamente. O engenheiro de conhecimento buscou identificar as informações suficientes e necessárias para definir cada um desses conjuntos, subdividindo-os quando necessário em sistemas ainda menores de modo a organizar a informação. Os dados foram fornecidos pela bibliografia e selecionados ou complementados pelo especialista. As informações conclusivas para cada um dos cinco subproblemas são as seguintes:

a) O ambiente é de água profunda se:

- a deposição se deu abaixo do nível de compensação da calcita ou abaixo do nível de ação das ondas de tempestade;

- a associação fóssil é de profundidade;

- não apresenta características típicas de água rasa.

b) A associação de fácies é de Talude se:

- a litologia é predominantemente siltico-argilosa;

- há extrema irregularidade das camadas;

- as camadas são muito delgadas;

- feições deformacionais são comuns;

- ocorrem truncamentos e cicatrizes erosionais.

c) A associação de fácies é de Leque Interno se:

- ocorrem canais preenchidos por conglomerados;
- as margens do canal são preenchidas por areia e silte em camadas delgadas;
- entre os canais depositam-se camadas finas e irregulares de sedimentos finos;
- o rompimento das paredes do canal gera depósitos de "crevasse";
- na frente da boca dos canais depositam-se arenitos com estruturas tracionais que compõem as barras de embocadura.

d) A associação de fácies é de Leque Externo se:

- a litologia é composta de Fácies C e D;
- não ocorrem canais expressivos;
- as camadas têm geometria plano-paralela;
- os contatos entre os depósitos são transicionais;
- as camadas formam ciclos de granocrescência e espessamento ascendente.

e) A associação de fácies é de planície bacial se:

- as camadas são extensas e regulares;
- a litologia compõe-se de arenitos finos a argilitos;
- as camadas turbidíticas intercalam-se com a sedimentação normal de fundo marinho;
- não existem padrões de repetição ("ciclos").

5.2.3.2 Análise das Informações

Uma vez estabelecidos os dados mínimos para resolver o problema, é necessário determinar a forma de organizar a informação e apresentá-la ao usuário.

As informações listadas para cada um dos cinco conjuntos que subdividem o modelo turbidítico podem ser de diversos tipos :

a) informações descritivas diretas: são características do tipo "a litologia é siltico-argilosa" ou "as camadas são regulares e extensas", comprovadas pela simples observação do depósito em estudo. Podem ser questionadas diretamente ao usuário, uma vez que são incluídas no conjunto mínimo de informação que o geólogo coleta em seu trabalho.

b) informações interpretativas: são características inferidas a partir de um conjunto de dados obtidos de observação direta. Por exemplo, "a deposição se deu abaixo do nível de compensação da calcita". Essa informação é obtida a partir de dados de litologia, fósseis e relações entre ambientes e inclui uma certa dose de critérios subjetivos.

c) informações cumulativas: incluem um conjunto de dados obtidos de observação direta que juntos definem um comportamento. Por exemplo, "a assembléia fóssil é de água profunda". Para se fazer essa afirmação é necessário ter se observado um número razoável de organismos fósseis, cujas espécies são descritas como de água profunda.

d) informações negativas: são dados cuja observação desmente a hipótese que se busca comprovar. Por exemplo, a presença de organismos de água rasa em litologias que se assume como sendo de água profunda.

e) informações contraditórias: são aquelas que, pela natureza da própria geologia do depósito, não podem ocorrer juntas. Um exemplo é "presença de corais hermatípicos autóctones" que são indiscutíveis indicadores de ambiente de águas rasas e "presença da fácies Nereites" que é um forte indicador de profundidades abissais. Essas duas informações não podem ser confirmadas para o mesmo depósito pois indicam um claro erro de coleta de dados. As

informações contraditórias devem ser selecionadas com muito cuidado, uma vez que a natureza é hábil em criar exceções respondendo às condições particulares de cada ocorrência.

5.2.4 Tratamento dos Tipos de Informações

As informações que compõem o modelo devem ser apresentadas ao usuário para que ele confirme tias reconhecido no campo. Se o número suficiente de dados for confirmado, o sistema identifica o depósito turbiditico e o classifica.

Assim a unidade de representação da informação no banco de conhecimento é codificada na forma de uma pergunta a ser feita ao usuário. Por uma facilidade de interação, as perguntas devem solicitar a confirmação das informações (aditem respostas SIM/NAO) ao invés de uma descrição dos dados do usuário.

A cada pergunta associa-se uma explicação ou reformulação da questão para garantir a compreensão do que foi solicitado e, se necessário, um texto de introdução como auxílio para estabelecer o contexto do assunto. Como auxílio à compreensão, pode ser utilizado ainda um desenho ou esquema que auxilie o rápido entendimento do que foi solicitado. Essa forma de organizar a informação compõe a Linguagem de Representação Externa do sistema e é descrita em detalhe no item 4.2.1 deste trabalho.

5.2.4.1 Tratamento das Informações Descritivas

As informações descritivas são os dados mais simples contidos no banco. Referem-se normalmente a existência de um objeto com um atributo específico, ou a existência de objetos ligados por algum relacionamento específico.

Assim, seja a informação (1):

"Ocorrem arenitos e conglomerados da Fácies A com geometria lenticular e alongada envolvidos por sedimentos da Fácies G."

A informação é composta por dois objetos, um atributo e um relacionamento:

Objeto 1: Arenitos e Conglomerados da Fácies A;

Atributo do Objeto 1: Geometria lenticular e alongada;

Objeto 2: Sedimentos da Fácies G;

Relacionamento Objeto1-Objeto2: Objeto 2 envolve Objeto 1.

Essa informação está representada graficamente na figura 5.3.

Objetos, Atributos e Relacionamentos na Informação

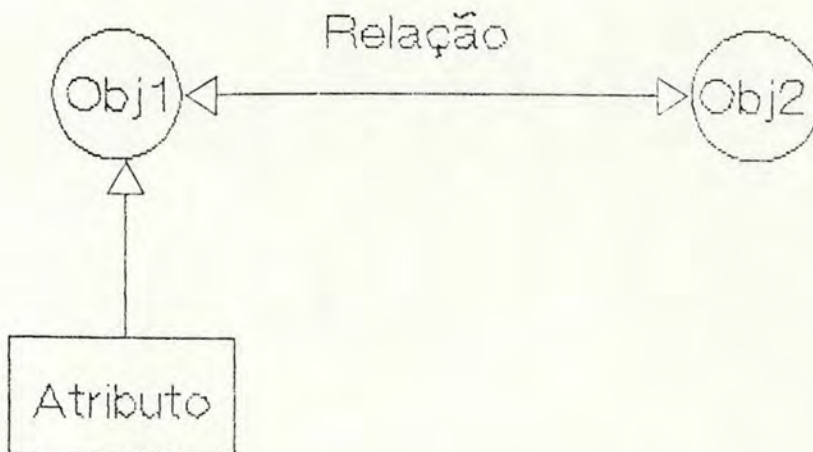


Figura 5.3 - Representação gráfica da informação composta por objetos, atributos e relacionamentos.

Para obter essa informação é necessário confirmar a presença de cada objeto, verificar se o Objeto 1 possui o atributo exigido e se existe o relacionamento entre eles.

Assim essa informação é acrescentada ao banco na forma:

- a) Existe o Objeto 1 ?
- b) O Objeto 1 possui o atributo ?
- c) Existe o Objeto 2 ?
- d) Ocorre o relacionamento entre eles ?

As quatro perguntas são codificadas em quatro espaços e definem uma informação para o banco de conhecimento.

A cada pergunta, qualquer que seja o dado que contenha, é associada uma explicação, para o caso do usuário não compreender o que lhe foi solicitado. No caso das perguntas que verificam a existência do objeto, é associada uma descrição deste objeto. No exemplo, para os Objetos 1 e 2, são associadas as descrições das Fácies C e D. Para os atributos e relacionamentos, a explicação normalmente fornece a interpretação geológica associada à presença daquele atributo ou relacionamento, de modo a fornecer ao usuário dados sobre o caminho da avaliação feita pelo sistema.

A representação da sequência de perguntas a até d é dada na figura 5.4.

Na sequência da interação, a primeira pergunta que define a existência do Objeto 1 irá decidir se as demais perguntas serão feitas ou não. Da mesma forma, a terceira pergunta decide se a quarta será feita. Naturalmente, se não existe o objeto, não tem sentido perguntar sobre seus atributos ou relacionamentos que o liguem a outros objetos.

Grafo de Espacos

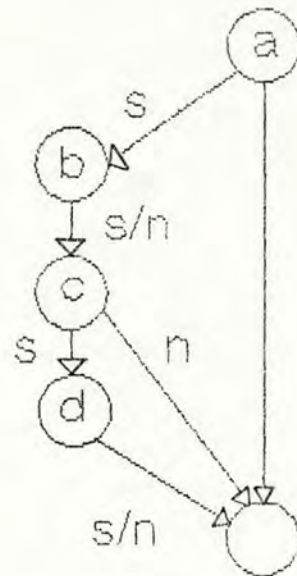


Figura 5.4: Grafo de espaços com os caminhos da interação das perguntas a, b, c e d no banco de conhecimento.

A informação completa "ocorrem arenitos e conglomerados da Fácies A com geometria lenticular e alongada envoltos por sedimentos da Fácies G" é totalmente confirmada somente se a pergunta d obtiver uma resposta positiva. Se essa pergunta não for feita ou obtiver uma resposta negativa, a informação não foi confirmada, como é garantido pelos caminhos da interação. Dessa forma, o peso associado à informação, bem como a conclusão parcial obtida dessa informação devem ser associados à confirmação da pergunta d, ou seja, à última pergunta que compõe a informação e somente a ela.

Podemos resumir as regras para codificação de informações descritivas como:

a) apresentar a informação na forma de objetos, atributos e relacionamentos;

b) confirmar a existência de cada objeto antes de testar seus atributos;

c) depois, confirmar a presença dos relacionamentos;

d) associar a conclusão e peso da informação à resposta positiva da última pergunta da sequência.

Essas regras básicas para codificação de informações descritivas encontram algumas variações no decorrer da construção do banco, que são ditadas pelo bom senso na análise do conhecimento.

Para a regra "confirmar a existência do objeto antes de testar seus atributos" as exceções se referem a objetos que certamente devem ocorrer na área estudada.

Por exemplo, seja a informação (2):

"Arenitos com estratificação cruzada"

Objeto 1 = arenitos

Atributo do Objeto 1 = estratificação cruzada

Segundo a regra citada, a informação seria representada pelas perguntas:

a) Existem arenitos na área em estudo?

b) Os arenitos contêm estratificação cruzada?

Na prática, porém, a pergunta a é desnecessária, uma vez que toda bacia sedimentar contém arenitos, que é o mais comum tipo de rocha sedimentar. Ao usuário, tal pergunta pareceria sem sentido e não deve ser incluída no banco. O estudo prévio sobre o assunto do sistema e sobre o modo de trabalhar do geólogo, feito pelo engenheiro de conhecimento, através da bibliografia e de entrevistas com o especialista, deve fornecer subsídios para resolver problemas desse tipo e criar um conjunto de regras de bom senso para filtrar os dados que serão incluídos no banco.

 espaco AREN

introd (A Associação de Facies de Talude e' fortemente influenciada pelo relevo particular associado "a" area , o qual ocasiona a formacao de canais de alimentacao de sedimentos mais grosseiros vindos da plataforma para o interior da bacia. As proximas perguntas buscam caracterizar estes canais.)

ques (Voce reconheceu corpos de arenitos ou conglomerados da facies A na unidade ?)

expl (A facies A "e" caracterizada por arenitos medios e grosseiros, com seixos esparsos, e conglomerados, em camadas irregulares de 1 a 10 metros, com estruturas de corte e preenchimento ("acanalamento multiplo)", gradacoes normais e inversas.)

sim 1
 nao CAOT
 d CAOT
 prox GEDAREN

 espaco GEDAREN

ques (A geometria dos arenitos e conglomerados tende a ser lenticular e alongada ?)

expl (Corpos de areia lenticulares e alongados identificam preenchimento de canais.)

resum (Ocorrem canais de sedimentos grosseiros na unidade.)

sim 1
 nao 0
 d 0
 prox FAFG

 espaco FAFG

ques (Os corpos da Facies A sao envoltos pelos sedimentos da facies G ?)

expl (Os corpos de arenitos e conglomerados, individualmente ou agrupados, sao confinados por pelitos, tanto em cima e embaixo como lateralmente.)

sim 1
 nao 0
 d 0
 prox DIAMIC

Figura 5.5 - Codificação de uma informação descritiva no conjunto "Associação de Facies de Talude" do banco de conhecimento do GEOXPRT.

A forma final da informação (1) como representada no banco de conhecimento é demonstrada na figura 5.5, extraída do conjunto "Associação de Facies de Talude" do banco de conhecimento do GEOXPRT.

5.2.4.2 Tratamento das Informações Interpretativas

São informações que o usuário pode possuir em seu conjunto de dados, mas são elas próprias resultado de inferências feitas sobre informações descritivas.

Por exemplo, a informação (3):

"Ocorrem tempestitos na área em estudo".

Tempestitos são rochas reconhecidas por uma série de feições particulares, como arenitos com estratificação cruzada do tipo "hummocky" e camadas com granodecrescência ascendente e marcas de sola na base. O geólogo, com um pouco de experiência anterior, pode identificá-las facilmente no campo.

Outro caso é a informação (4):

"A deposição ocorreu abaixo do nível de compensação da calcita";

que foi obtida a partir de observações descritivas, como a ausência de cimento de carbonatos nas rochas e predomínio de fósseis silicosos e aglutinantes.

Informações do tipo (3) e (4) podem ser codificadas em um único espaço cada uma e serem questionadas ao usuário diretamente, de modo a agilizar a interação e evitar seqüências longas de perguntas sobre dados descritivos básicos. Porém, por serem resultado de inferências, embora simples, não pode ser exigido ao usuário que tenha conhecimento das informações. A explicação associada à pergunta deve conter a definição do que é solicitado e os critérios mínimos para reconhecimento.

Assim, a resposta Dúvida dos espaços que representam informações interpretativas deve ser associada uma subárvore de inferência que questione as informações descritivas necessárias para chegar a essa interpretação. Essa subárvore de inferência segue as regras de codificação de informações descritivas expostas no item 5.2.4.1. O peso e a conclusão parcial associada à informação são associados ao próprio espaço da informação, e também ao último espaço da subárvore de inferência.

A representação da informação "Ocorrem tempestitos na área em estudo" e respectiva subárvore de inferência é demonstrada na figura 5.6, que contém um trecho do conjunto "Profundidade do Ambiente de Deposição".

5.2.4.3 Tratamento das Informações Cumulativas

Esse tipo de informação é obtido de um conjunto de dados descritivos que, juntos, definem uma tendência.

Por exemplo, a informação (5):

"A assembleia fóssil é de água profunda" corresponde a verificar se existem uma série de espécies fósseis típicas de águas profundas. A informação irá se confirmar se existir um número razoável de espécies na unidade, embora nem todas as que o sistema contém em seu banco precisem ter sido identificadas pelo geólogo.

A forma de codificar informações cumulativas consiste em estabelecer uma sequência linear na interação, ou seja, onde para qualquer resposta existe um único próximo espaço (veja a forma de organização dos espaços no item 4.2.2). Cada espaço dessa sequência questiona um dos dados descritivos que influenciam na tendência. O peso total da informação é distribuído entre os espaços da sequência linear.


```

---
espaco TEMPEST
introd ( A presenca de tempestitos e' crucial para definir profundidade,
        uma vez que o ambiente de agua profunda e' considerado a partir
        da base de acao das ondas de tempestades. )
ques ( Ha' expressiva ocorrencia de tempestitos na unidade ? )
expl ( Tempestitos sao depositos originados por ondas de tempestades
        que mobilizam grande volume de material. Sua caracteristica
        principal e' a estratificacao cruzada hummocky.)
flag ( PRIMEIRO CCD RADIOL )
      sim -5
      nao 0
      d HUMMOC
      prox DIAMIC

---
subesp HUMMOC
ques ( Voce encontrou estratificacao cruzada "hummocky" nos
      depositos ? )
expl ( A estrutura hummocky e' a principal caracteristica de
      tempestitos. E' reconhecida por: camadas plano-convexas,
      interseccoes de baixo angulo, comprimento de onda longo, baixa
      amplitude. Sugere-se consultar o livro "Facies Models", editado
      por R.G. Walker, e verificar se os parametros sedimentologicos
      conferem com os de seu caso.)
      sim -2
      nao DIAMIC
      d DIAMIC
      prox EXPRES

---
subesp EXPRES
ques ( As feicoes que caracterizam tempestitos ocorrem de modo
      abundante ? )
expl ( Ambiente de aguas profundas situa-se abaixo do nivel de acao de
      ondas de tempestade. A presenca expressiva de tempestitos indica
      deposicao em niveis d'agua mais rasos, embora seja admissivel a
      ocorrencia esporadica de uma camada com estrutura hummocky numa
      sequencia de turbiditos (e'' o caso de turbiditos do Canion
      de Fazenda Cedro. )
flag ( PRIMEIRO CCD RADIOL )
      sim -3
      nao 0
      d -1
      prox DIAMIC

```

Figura 5.6 - Codificaco de uma informaco interpretativa do conjunto "Profundidade do Ambiente de Deposicao" do banco de conhecimento do GEOXPRT.

O primeiro espaço para questionar a informação deve ser um espaço de encaminhamento, de forma a introduzir ao usuário o assunto que será abordado nas próximas perguntas e permitir que ele se desvie da seqüência, caso não possuir as informações. Isso evita que o sistema force uma seqüência longa de perguntas similares e sobre dados descritivos a um usuário que não possua esses dados.

A codificação da informação cumulativa (5) é mostrada na figura 5.7, que contém um trecho do conjunto "Profundidade do Ambiente de Deposição".

Normalmente, informações cumulativas não possuem conclusões parciais associadas, uma vez que não há nenhum ponto da seqüência de interação onde, garantidamente, a informação é confirmada ou refutada completamente. Os dados apenas acrescentam evidências à conclusão final.

5.2.4.4 Tratamento das Informações Negativas

As informações negativas se referem a dados descritivos ou interpretativos que contrariam o modelo geológico que está sendo codificado. São incluídos como informação complementar nos casos em que há carência de critérios afirmativos de reconhecimento do modelo.

E o caso do conjunto "Profundidade do Ambiente de Deposição", onde grande parte das informações que identificam o ambiente se referem a não existência de evidências de ambiente de água rasa.

Esse tipo de informação deve ser tratado com cuidado e incluído na quantidade mínima indispensável no banco de conhecimento. Conclusões obtidas a partir da não existência de determinados dados tendem geralmente a ser inconsistentes.


```

---
espaco ICNOFOS
introd ( Fosseis, quando presentes na litologia, sao dados diagnosticos
        para determinar o ambiente de deposicao dos sedimentos. )
ques ( Voce quer analisar as especies fosseis da unidade em estudo? )
expl ( Fosseis sao importantes demonstrativos da profundidade
       em que ocorreu a deposicao dos sedimentos. )
sim TRACE
nao RAIZES
d RAIZES

```

```

---
espaco TRACE
introd ( Nas litologia de idade Paleozoicas, os melhores indicadores
        biogenicos sao os icnofosseis ou traco fosseis. )
ques ( Voce identificou icnofosseis na unidade? )
expl ( Icnofosseis ou traco fosseis ("trace fossils") sao registros da
       passagem de organismos nos sedimentos, sem que haja
       necessariamente preservacao dos mesmos. Correspondem a rastros,
       tubos e marcas. )
sim NEREI
nao ONDAS
d ONDAS

```

```

---
espaco NEREI
ques ( Voce reconheceu tracos fosseis de NEREITES na unidade? )
expl ( A presenca de tracos fosseis de NEREITES definem uma icnofacies
       em ambiente marinho profundo e indicam zonas abissais. )
resum ( A identificacao de icnofosseis da Facies Nereites indica
       profundidades abissais de deposicao. )
flag ( TEMPEST EXPRES )

sim 4
nao 0
d 0
prox ZOOPHY

```

```

---
espaco ZOOPHY
ques ( Ocorrem tracos fosseis de ZOOPHYCOS, CHONDRITES ou PLANOLITES
       nas litologias? )
expl ( Estes registros fosseis indicam deposicao em fundo marinho em
       zonas batiais. )
sim 3
nao 0
d 0
prox TALASS

```

Figura 5.7 - Codificação de uma informação cumulativa do conjunto "Profundidade do Ambiente de Deposição" do banco de conhecimento do GEOXPRT.

Considerando o exemplo de reconhecer um ambiente de água profunda, a informação (6):

"Ocorrem marcas de onda na litologia"

é uma informação negativa, pois marcas de onda são estruturas típicas de baixa profundidade de lamina d'água. Se confirmada, pode-se concluir que a região estudada não corresponde a um ambiente de água profunda. Porém, se o usuário responder "NAO" à pergunta referente a essa informação, nenhuma conclusão é obtida. O ambiente em questão pode ser o de água profunda, mas pode ser qualquer outro ambiente continental, ou mesmo um ambiente de água rasa, onde o usuário, por problema de observação, não encontrou marcas de onda.

Crítérios negativos, portanto, devem ser incluídos apenas quando as evidências positivas são insuficientes e para checar a hipótese antes da conclusão final.

São incluídos no banco da mesma forma que as informações descritivas, porém os pesos associados às respostas afirmativas devem ter valores negativos. Não devem ser incluídas conclusões parciais associadas a esses espaços, uma vez que a confirmação da informação contraria o modelo e sua negação, como já foi demonstrado, não permite obter conclusões consistentes.

A codificação de informações negativas é vista na figura 5.8, que contém alguns espaços do conjunto "Profundidade do Ambiente de Deposição".

5.2.4.5 Tratamento das Informações Contraditórias

A própria presença de informações negativas leva à ocorrência de informações contraditórias no banco de conhecimento. Se o usuário confirma a presença de dados que contrariem o modelo, é natural que ele não deva ter a presença dos dados equivalentes que comprovem o modelo.

Ou seja, se o geólogo identificou estruturas e fósseis típicos de água rasa, ele não deve encontrar dados que identifiquem água profunda, pois certamente isso decorre de um erro de observação. O sistema deve testar esse tipo de entrada inconsistente.

Não são apenas as informações negativas que geram informações contraditórias. Existem características geológicas que, sozinhas, confirmam o modelo, mas quando ocorrem associadas incorrem em uma contradição.

Em ambos os casos o sistema irá verificar a consistência da resposta do usuário. Espaços que codificam informações contraditórias contêm um "flag" associado com a lista dos espaços com os quais ele se contradiz. O sistema irá verificar se todas as respostas são consistentes.

A figura 5.8 contém um trecho do conjunto "Profundidade do Ambiente de Deposição", que contém "flags" de informações contraditórias.

```

---
espaco ONDAS
introd ( Algumas estruturas sao muito tipicas para deposicao em
        ambientes de menor profundidade de lamina d'agua. As proximas
        perguntas identificam feicoes que NAO devem aparecer em ambiente
        marinho profundo. )
ques ( Voce reconheceu estruturas do tipo marcas de onda nas litologias
      em questao ? )
expl ( Estruturas tracionais como marcas de onda e dunas sao
      caracteristicas de regime de fluxo inferior em zonas de baixa
      profundidade de agua. )
flag ( PRIMEIRO CCD RADIOL FORAD DIANER FOSPROF )
      sim -2
      nao 1
      d 0
      prox CHUVA

```

```

---
espaco CHUVA
ques ( Ocorrem estruturas do tipo pingos de chuva nas fracoes mais
      finas da unidade? )
expl ( "Pingos de chuva" sao pequenas marcas circulares no topo das
      camadas siltico argilosas, indicando que estas estiveram em
      exposicao sub-aerea em algum periodo. )
flag ( PRIMEIRO CCD RADIOL FORAD DIANER FOSPROF )
      sim -3
      nao 0
      d 0
      prox GRETAS

```

```

---
espaco GRETAS
ques ( Voce identificou estruturas do tipo fendas de ressecamento nas
      litologias da unidade ? )
expl ( Fendas de ressecamento ou gretas de contracao formam-se quando
      o sedimentos saturados em agua sao expostos subaereamente. A
      superficie parte-se em formas poligonais. )
flag ( PRIMEIRO CCD RADIOL FORAD DIANER FOSPROF )
      sim -2
      nao 0
      d 0
      prox CRUZADA

```

Figura 5.8 - Codificação de informações negativas e contraditórias do conjunto "Profundidade do Ambiente de Deposição" do banco de conhecimento do GEOXPRT.

CAPITULO 6

6 AVALIAÇÃO DO SISTEMA

O objetivo do Sistema GEOXPRT é auxiliar um geólogo com conhecimentos em Geologia Sedimentar a identificar um depósito turbidítico, em uma área onde acredita que pode existir um. O sistema busca ainda reconhecer a qual porção de um leque turbidítico corresponde às litologias e estruturas encontradas pelo usuário, obtendo, portanto a classificação do depósito.

Secundariamente, o sistema busca servir como um tutorial no acompanhamento de pesquisas geológicas em bacias turbidíticas, fornecendo toda informação necessária a perfeita compreensão do modelo geológico para depósitos turbidíticos clássicos. O sistema fornece, ainda, que tipo de dados devem ser analisados e em que ordem, para orientar pesquisas futuras.

Em relação a esses objetivos pode-se dizer que o Sistema GEOXPRT alcançou bons resultados. Algumas restrições, no entanto, devem ser enumeradas.

6.1 Desempenho

O sistema degrada seu desempenho a medida em que a área analisada difere do modelo do banco de conhecimentos, ou seja, parecerá menos inteligente tanto mais distinto seja o tipo de ocorrência testada em relação a um depósito turbidítico clássico. O sistema deve identificar corretamente o ambiente e classificar o depósito, se este corresponder a um depósito turbidítico com a estrutura de leque descrita neste trabalho em suas pequenas variações.

Rochas turbidíticas resultantes de uma deposição menos usual, podem resultar em erros do sistema na detecção do ambiente. Lagos profundos, regiões com teor de salinidade anormal ou com grandes quantidades de carbonatos

não correspondem à descrição de ambiente de água profunda incluída no modelo e podem levar a erros de interpretação. Um caso como este faria o sistema reconhecer as Associações de Fácies turbidíticas, porém não reconheceria o ambiente de água profunda.

Depósitos com outros condicionantes estruturais podem resultar em sistemas turbidíticos distintos que não são previstos no banco de conhecimentos. As Associações de fácies podem ser reconhecidas (uma ou mais de uma) com baixas percentagens de ajuste em relação ao modelo, embora em um ambiente que corresponde a água profunda.

Outros tipos de depósitos, que não turbidíticos, obterão conclusões acertadas do sistema, porém a interação parecerá pouco adequada ao caso.

6.2 Completeza

O banco de conhecimento contém todos os dados descritivos referentes ao modelo geológico de um depósito turbidítico clássico constantes nas descrições da literatura, mais um conjunto de informações oriundas de experiência de campo do especialista. Descreve ainda algumas poucas variações com que estes dados podem ocorrer na natureza. Não explora, naturalmente, todas as variações possíveis, devido a própria infinitude da informação.

Não são incluídos no sistema outros modelos de depósitos turbidíticos amplamente aceitos pela comunidade científica e que diferem do modelo clássico. Não são consideradas ainda as opiniões de diferentes especialistas sobre o modelo clássico, o que poderia garantir interpretações mais abrangentes.

O sistema não possui dados para descartar depósitos excessivamente diferentes do modelo codificado antes de realizar toda a sequência da interação. Esses dados poderiam ser adicionados ao banco na forma de feições

diagnósticas de diversos ambientes sedimentares a serem verificadas, antes de analisar os dados sobre turbiditos propriamente ditos.

O banco de conhecimentos não considera informações que fazem parte do arcabouço do conhecimento geológico, como por exemplo leis da Físico-química, regimes de fluxos hidrodinâmicos ou Geoquímica. Essas informações permitiriam realizar inferências ou verificar a consistência das conclusões obtidas em um nível mais alto.

6.3 Adequação

Nos moldes em que foi desenvolvido, o Sistema GEOXPRT deve ser considerado um tutorial para estudo de depósitos turbidíticos, demonstrando as potencialidades de meios inteligentes de armazenamento de informações, antes que um sistema de classificação. Dois fatores sugerem essa utilização: a completeza dos dados e a forma da interação.

Para realizar a análise de depósitos sedimentares reais para um usuário não-especialista, o sistema deveria considerar uma gama maior de tipos de depósitos turbidíticos e uma quantidade maior de dados cada um. Ampliando o banco de conhecimento para conter o volume de informações suficientes, a estrutura de controle mostrarse-ia insuficiente para tratar os dados. Uma forma de interação mais ágil seria necessária, para evitar longas seqüências de perguntas e respostas. Essa forma deveria incluir a entrada espontânea de dados pelo usuário, com esquemas gráficos e uma maior argumentação em relação às conclusões alcançadas.

O sistema, como um protótipo, cumpre a finalidade de demonstrar ser viável construir sistemas baseados em conhecimento para classificação de ambientes sedimentares, porém um sistema especialista eficiente deverá ser desenvolvido sobre uma estrutura mais robusta.

CAPITULO 7

7 CONCLUSÃO

Este trabalho descreve o protótipo de um sistema de consulta baseado em conhecimento para avaliação de dados geológicos sobre depósitos turbidíticos. O sistema busca identificar as condições ambientais que permitem preservar um depósito turbidítico e reconhecer a qual porção ou porções desse depósito correspondem os dados avaliados. O sistema segue aproximadamente os mesmos passos que um geólogo especialista em Sistemas Turbidíticos percorreria ao avaliar uma bacia sedimentar que possivelmente contivesse sedimentos desse tipo.

Foram descritos a filosofia e os passos para aquisição e codificação do conhecimento necessário a avaliação de dados geológicos, bem como para a construção do mecanismo de inferência.

A pesquisa para a construção do sistema passou pelas seguintes etapas:

a) Estudo do problema e formalização do Modelo Geológico:

Realização de pesquisa bibliográfica e discussões com o especialista de forma a que o engenheiro de conhecimento conhecesse o vocabulário técnico e a forma de trabalho do especialista. Seleção do Modelo Geológico inicial para servir como arcabouço à construção do banco.

b) Escolha dos critérios de desenvolvimento do sistema:

Formalização do tipo de problema a ser resolvido pelo sistema e das expectativas em relação ao que poderia ser feito. Definição do tipo de usuário a quem se dirigiria o sistema e o nível de informação que ele deveria ter para interagir com o programa. Nessa etapa, foi selecionada a estrutura inicial do sistema, a forma de interação e o nível de transparência que o sistema deveria manter com o usuário.

c) Seleção da Forma de Representação do Conhecimento:

Entre as técnicas disponíveis, foi selecionada a que mais se adequava ao problema em questão. Foi definida a estrutura inicial do banco de conhecimento e da linguagem de representação externa.

d) Análise do conhecimento:

Avaliação das informações que iriam integrar o banco de conhecimento, escolha da forma de análise dessas informações para orientar o crescimento do banco de conhecimento.

e) Elaboração do Protótipo:

As fases seguintes referiram-se à elaboração e sucessivos refinamentos do banco de conhecimentos, orientadas por entrevistas com o especialista e testes do sistema com geólogos.

Com o crescimento do banco, periodicamente, evidenciaram-se limitações do mecanismo de inferência e da estrutura do programa. Assim, a cada etapa de expansão na quantidade de informações contida no banco, segue-se uma fase de ampliação das capacidades da estrutura de controle, levando, às vezes, à própria modificação na forma do banco de conhecimento, seguida por uma nova fase de crescimento do conhecimento.

A prototipação do sistema seguiu as seguintes expansões:

a) Elaboração do banco de conhecimentos inicial utilizando a estrutura do Sistema MuPROSPECTOR /MCC 83/.

b) Separação do Modelo Geológico em quatro partes independentes, as quatro divisões espaciais do modelo, e agrupamento das informações em conjuntos (uma conclusão parcial por grupo de espaços).

c) Implementação de uma nova estrutura de controle baseada nos conjuntos. Estruturação do banco de conhecimento em quatro arquivos separados.

d) Expansão do banco de conhecimento, incluindo mais uma divisão relativa ao contexto de ambiente de ocorrência de turbiditos. Foi estreitada a área de conhecimento abordada pelo sistema, de forma a aprofundar seu conteúdo. A construção do banco, até esse ponto, baseou-se quase completamente em trabalhos escritos indicados pelo especialista, que definiu a ordem e forma de inclusão dos dados.

e) Criação do Editor Gráfico para confecção das ilustrações dos espaços. Modificação da estrutura de controle para incluir tratamento de dúvida nas informações interpretativas e melhora na robustez do sistema (procedimentos de detecção de erros, armazenamento do sistema em forma interpretada) de modo a que este pudesse ser utilizado pelo especialista sem auxílio do engenheiro de conhecimento.

f) Expansão do banco a partir do conhecimento heurístico do especialista. Foram incluídas estruturas menos comuns, casos particulares, dicas e exemplos entre as informações do banco. O especialista incluiu espaços no banco de conhecimento utilizando editor de texto e ele mesmo os testou.

g) Modificação da estrutura de controle para inclusão de pesos associados às evidências e cálculo da adequação das respostas do usuário em relação ao modelo. Melhora nos aspectos de interface com o usuário, inclusão do Tutor entre as opções de comandos.

h) Depuração do banco de conhecimento e inclusão de informações com auxílio de especialistas de outras áreas (paleontólogos, geoquímicos).

i) Inclusão na estrutura de controle de rotinas para testar a consistência das respostas do usuário.

j) Depuração do banco de conhecimento, ajustando os pesos das informações e incluindo ilustrações onde se fizeram necessárias. Teste exaustivo para verificar possíveis conclusões inconsistentes.

As etapas seguintes deveriam incluir o detalhamento das informações do banco, aprofundando a abordagem por assunto de forma a garantir a validade da informação em todas as suas variações. Esse processo levaria a uma nova modificação no programa, talvez uma completa reformulação do mesmo para permitir uma forma de interação mais ágil com o usuário utilizando outros recursos computacionais.

Os objetivos iniciais propostos para o sistema foram plenamente alcançados, incluindo ainda recursos que se mostraram importantes no decorrer do processo de desenvolvimento. Cabe ressaltar, no entanto, algumas limitações do sistema quanto a ser um consultor sobre depósitos turbidíticos:

a) O sistema codifica um Modelo Geológico de Sistemas Turbidíticos que, embora aceito pela comunidade geológica, não é o único efetivamente utilizado.

b) O sistema codifica o conhecimento selecionado por um único especialista, não incluindo opiniões divergentes ou outras formas de avaliação de Geologia Sedimentar.

c) O banco de conhecimento inclui algumas, mas não todas as variações sob as quais rochas, estruturas e feições sedimentares ocorrem na natureza. Como não inclui ainda o conhecimento geológico básico que permite ao geólogo reconhecer uma determinada feição como variação de outra, o sistema simplesmente as desconsidera.

d) O banco de conhecimento não considera alguns conceitos mais recentes ligados à Depósitos Sedimentares Marinhos Profundos, como ocorrência de contornitos ou evolução do Leque Turbidítico sob influência de variações do nível do mar.

Essas limitações refletem a condição de protótipo em que foi desenvolvido o sistema, não retirando sua validade como caso de estudo.

7.1 Considerações para Desenvolvimento de Sistemas Especialistas

O desenvolvimento de Sistemas Especialistas deve ter como objetivo criar produtos de fácil utilização, transparentes na sua forma e fundamento do raciocínio, robustos quanto ao volume e agilidade de manuseio das informações e confiáveis nas suas conclusões.

O projeto do sistema deve considerar possibilidades de automatizar o processo de aquisição de conhecimento. Essa é a tarefa fundamentalmente restritiva quanto a possibilidade de estabelecer projetos com prazos curtos para o desenvolvimento de Sistemas Especialistas.

Visando esses objetivos algumas considerações podem ser levadas em conta:

a) A agilidade e robustez dos Sistemas Especialistas podem ser obtidas a partir da utilização conjunta dos recursos da Computação Convencional e da Inteligência Artificial. Programas algorítmicos permitem um manuseio confiável e ágil de grandes volumes de informações, através da organização e controle de arquivos de dados. Permitem ainda a criação de interfaces com recursos gráficos e menus de forma largamente otimizada. A Inteligência Artificial fornece por sua vez a possibilidade de interação em Linguagem Natural, a recuperação de dados

de forma inteligente, bem como a possibilidade de considerar o conteúdo semântico das informações tratadas por computador, tomada de decisões e formas de raciocínio que emulam em muito as do ser humano.

b) Um projeto de Sistema Especialista deve conter a prototipação em suas fases iniciais, uma vez que esse procedimento permite uma familiarização mais rápida com o domínio da aplicação e evidencia os possíveis problemas antecipadamente.

c) A prototipação precoce do sistema pode ser ainda utilizada para motivar a equipe de especialistas no domínio a se "engajar" no desenvolvimento do trabalho, pelo fato de visualizarem parcialmente o produto final.

d) A motivação do especialista envolvido no desenvolvimento do projeto deve ser considerada com todo cuidado. Profissionais com conhecimentos profundos em alguma área da ciência costumam ter excesso de ocupações e escassez de tempo disponível. O especialista deve necessariamente compreender ao menos os aspectos mais superficiais que orientam o desenvolvimento de sistemas especialistas, sob pena de inviabilizar o trabalho. (Esta necessidade foi percebida pela equipe de desenvolvimento do Sistema MUDMAN /DEC 86/ descrito no item 2.6 deste trabalho.) A compreensão do processo de aquisição de conhecimento facilita ao especialista fornecer exemplos e informações mais dirigidos ao objetivo do trabalho.

e) Por outro lado, o engenheiro de conhecimento deve ser um profissional com algum conhecimento da área da Ciência abrangida pelo trabalho. O desconhecimento completo do fundamento científico do problema abordado pode tornar impossível o diálogo e desmotivar a colaboração da equipe de especialistas.

f) Uma parte importante do projeto deve ser dedicada ao desenvolvimento de ferramentas de aquisição

automatizada de conhecimento, de modo a facilitar o crescimento do banco de uma forma consistente.

g) Finalmente, a fase de desenvolvimento do sistema deve contar um extenso prazo de depuração, depois deste ser considerado "pronto", para permitir o teste exaustivo da consistência do banco de conhecimento. Este teste pode ser feito utilizando conjuntos de dados reais cujo resultado de interpretação já é conhecido.

BIBLIOGRAFIA

- /ABE 86/ ABEL, Mara Introdução aos sistemas especialistas. Descrição dos sistemas Mycin, Prospector, Dipmeter Advisor e MuProspector. Porto Alegre, CPGCC/UFRGS, 1986.
- /ABE 88/ ABEL, Mara. GEOXPRT - Manual do Sistema. Porto Alegre, CPGCC/UFRGS, 1988.
- /BOU 62/ BOUMA, A. H. Sedimentology of some flysc deposits. Amsterdam, Elsevier, 1962. 168 p.
- /BRU 85/ BRUHN, C.H. Sedimentação e evolução diagenética dos turbiditos Eocretácicos do Membro Gomo, Formação Candeias, no compartimento Nordeste da Bacia do Recôncavo, Bahia. Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto, 1985. 203 p. Dissertação de Mestrado.
- /BUC 84/ BUCHANAN, B. e SHORTLIFFE, E. Rule-based expert systems: the MYCIN experiments. Reading, Addison- Wesley, 1984.
- /CAM 82/ CAMPBELL, A.N.; HOLLISTER, V.F.; DUDA, R.O. e HART, P.E. Recognition of a hidden mineral deposit by an artificial intelligence program. Science, Washington, 217 (4563):927-8, Sept 1982.
- /CON 88/ CONRAD, Marc A. e BEIGHTOL, Donald S. Expert systems identify fossils and manage large paleontological databases. Geobyte, 3(1):42-6, Fev 1988.
- /COS 85/ COSTA, A.C.R. Introdução aos sistemas especialistas e descrição informal do sistema muPROSPECTOR. Porto Alegre, CPGCC/UFRGS, 1985.
- /DEC 86/ DELCOUR, Julie. Artificial intelligence becomes a real tool. Geobyte, 1 (2): 10-14, Spring, 1986.

- /DEL 77/ DELLA FAVERA, J. C., GONÇALVES, A., TOFFLLE, L.C. e SOUZA, S.M. Ambientes de Agua Profunda. Relatório de viagem a Bacia TREP-PAMPLONA, Espanha. In: PETROBRAS, Relatório Interno DIVEX. Rio de Janeiro, 1977. Vol 2.
- /DEL 84/ _____ Eventos de sedimentação episódica nas bacias brasileiras. Uma contribuição para atestar o caráter pontuado do registro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. Anais. Rio de Janeiro, Soc. Bras. Geologia, 1984. p.489-501.
- /DEL 88/ _____ As aquisições tectônicas em estratigrafia e sedimentologia nos últimos vinte e cinco anos: sua incidência no ensino de graduação. Rio de Janeiro, PETROBRAS, 1988. (inédito)
- /DUD 76/ DUDA, R. O., HART P. E. e NILSSON, N. J. Subjective bayesian methods for rule-based inference system. In: NATIONAL COMPUTER CONFERENCE, New York, June 7-10, 1976. Proceedings. Montvale, AFIPS Press, 1976. 45(1075-82)
- /DUD 78/ DUDA, R. O.; HART, P. E.; NILSSON, N. J.; E SUTHERLAND, G. L. Semantic network representations in rule-based inference systems. In: WATERMAN, D. A. e HAYES-ROTH, F.(eds). Pattern Direct Inference. New York, Academic Press, 1978. p.1075-82.
- /DUD 81/ DUDA, R.O.; GASCHING, J.; REBOH, R.; WILBER, B.M. Operations manual for the PROSPECTOR consultant system. Final Report. Stanford, SRI International, 1981.

- /ENN 85/ ENNIS, Susan P. A look at knowledge-based information systems: requesting maps from computers in geologic terms, solution or problem? Geobyte, 1 (1): 24-9, Winter, 1985.
- /GAS 79/ GASCHING, J. Preliminary performance analysis of the PROSPECTOR consultant system for mineral exploration. IJCAI, 6:308-10, 1979.
- /GAS 81/ GASCHNIG, J. Prospector: an expert system for mineral exploration. In: Machine Intelligence. Maidenhead, Pergamon, Infotech, 1981. p.233-46. State of Art Report, series 9, number 3.
- /HAY 83/ HAYES-ROTH, F. et alli. Building expert systems. California, Addison-Wesley, 1983.
- /HEA 78/ HEADING, H.C. (ed) Deep Clastic Seas. In: Sedimentary environments and facies. New York, Elsevier, 1978. Cap 12 , p.372-415.
- /KRY 85/ KRYSTINIK, Katherine B. An example expert system for the interpretation of depositional environments. United States Department of the Interior-Geological Survey, 1985. Open-File Report 85-30.
- /KUE 50/ KUENEN, P.H. turbidity currents of high density. Intl. Geol. Congress, 18. London, 1948. p. 44-52.
- /KUE 50a/ KUENEN, P.H. & MIGLIORINI, C.I. Turbidity currents as a cause of graded bedding. Journal Geol., 58(91-127).
- /KUO 87/ KUO, Tsai-Bao e STARTZMAN, Richard A. Field-scale stratigraphic correlation using artificial intelligence. Geobyte, 2(2):30-5, 1987.

- /MCC 83/ McCAMMON, Richard B. Operation manual for the muPROSPECTOR consultant system. U.S. Dept. of the Interior - Geological Survey, 1983. Open-File Report 83-804.
- /MCC 84a/ _____ et alli. An expert system for mineral resource assessment in the Sherbrooke-Lewiston 10. x 20. quadrangles, Maine, New Hampshire and Vermont. U.S. Dept. of the Interior-Geological Survey, 1984. Open-File Report 84-751.
- /MCC 84b/ _____ Recent developments in PROSPECTOR and future expert systems in regional resource evaluation. SYMPOSIUM on the SPACIAL INFORMATION TECNOLOGIES for REMOTE SENSING, TODAY and TOMORROW, WILLIAM T. PECORA MEMORIAL REMOTE SENSING, 9., Sioux Fall, Oct. 2-4, 1984. Proceedings. Silver Spring, IEEE Comp. Soc. Prees, 1984.
- /MIL 86/ MILLER, Betty M. Building an expert systems helps classify sedimentary basins and assess petroleum resources. Geobyte 1(2):44-50, 83-4, Spring 1986.
- /MOR 85/ MORAES, M. A. Geometria externa de reservat6rios turbiditicos: exemplos da Bacia de Campos. In: SEMINARIO DE GEOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO E RESERVATORIO, 2., Rio de Janeiro, Out 86. Anais. Rio de Janeiro, PETROBRAS, 1986. p.89-99.

- /MUT 72/ MUTTI, E. e RICCI LUCCHI, F. Turbidites of Northern Apennines: Introduction to facies analysis. Internat. Geology Rev. 20(2). Menlo Park, U.S. Geological Survey, 1972. (Traduzido por Nielsen, T.H. de "Le Torbiditi dell'Appennino Settentrionale: introduzione all'analisi di facies". Memorie della Societa Geologica Italiana, 1972. p.161-99.)
- /MUT 75/ _____. Examples of turbidite facies and facies associations from selected formations of the northern Apennines. In: INTERNATIONAL CONGRESS of SEDIMENTOLOGY, 9., Nice, 1975. Guidebook to Field Trip A-11.
- /MUT 77/ _____. Thin bed turbidite facies and related depositional environments in the paleocene hecho group system (South-Central Pyrennees, Spain). Sedimentology. 24:107-31, 1977.
- /NIL 82/ NILSSON, N. J. Principles of artificial intelligence. New York, Spring-Verlag, 1982.
- /OLE 86/ OLEA, R. A. e DAVIS, J.C. An artificial intelligence approach to lithostratigraphic correlation using geophysical well logs. In: ANNUAL CONFERENCE AND EXHIBITION OF THE SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS, 61, New Orleans, October 5-8, 1986. New Orleans, SPE, 1986.
- /REI 85/ REID, C.A. et alli. A knowledge representation for reasoning about petroleum geology. CONFERENCES on IA APLICATION: THE ENGINEERING of KNOWLEDGE BASED SYSTEM, 2., Miami Beach, Dec 11-13, 1985. Proceedings. Washington, IEEE Com Soc. Press, 1985. p.125-9.

- /SHO 84/ SHORTLIFFE, E.H. e BUCHANAN, B.G. Rule-based expert systems. California, Addison-Wesley, 1984.
- /SMI 84/ SMITH, Reid G. On the development of commercial expert systems. In: Tcnology transfer. The AI Magazine, Fall 1984. p.61-73.
- /WAL 73/ WALKER, Roger. G. Turbidite facies and facies associations. In: MIDDLETON, G.V. Turbidites and deep-water sedimentation. Short Course Notes. Pacific Sec. Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists, 1973. Part 4 , p 119-157.
- /WAL 84/ _____ (ed) Facies models. (2a. ed.) Toronto, Geological of Canada, 1984.

ANEXO 1

DESCRIÇÃO DO MODELO GEOLOGICO

Turbiditos são depósitos sedimentares clásticos geralmente associados a águas profundas. Na descrição de MUTTI e RICCI LUCCI /MUT 77/, baseada em BOUMA /BOU 62/ e WALKER /WAL 65, 67 e 70/ é considerado "uma camada, ou melhor, o modelo de uma camada, caracterizado por uma sucessão fixada de estruturas sedimentares (a sequência T_a-e) que reflete um mecanismo hidrodinâmico e deposicional preciso".

No estado atual de conhecimento, estes depósitos podem ser considerados bem estudados (embora, em muitos exemplos, mal explicados) em termos descritivos como em relação ao mecanismo particular da deposição. A maior contribuição neste estudo deve-se aos trabalhos pioneiros de BOUMA (op.cit.), KUENEN /KUE 50/ e KUENEN & MIGLIORINI /KUE 50a/ e a sequência de trabalhos de WALKER, MUTTI e RICCI LUCCHI em ambientes antigos.

No Brasil, o estudo de turbiditos deve-se principalmente aos trabalhos de pesquisa e exploração de petróleo desenvolvidos pela PETROBRAS. Nestes, enfatiza-se principalmente os trabalhos das bacias de Campos (RJ), de Sergipe-Alagoas e do Recôncavo Baiano (BA).

No contexto deste trabalho, a identificação dos depósitos tentará, tanto quanto possível ater-se a critérios descritivos de geologia de superfície e, a partir deles, reconhecer o ambiente e processos envolvidos na formação daquela fácies específica. O termo "FACIES" indica uma camada ou grupo de camadas com características litológicas, geométricas e sedimentológicas que as diferenciam de outras adjacentes /MUT 75/. Cada fácies é o produto de um mecanismo deposicional específico ou de vários mecanismos relacionados atuando ao mesmo tempo. Uma "ASSOCIAÇÃO DE FACIES" é a combinação de duas ou mais fácies formando corpos sedimentares definidos, considerados

como a expressão espacial preservada de um ambiente deposicional /MUT 75/.

O modelo faciológico básico a ser utilizado para descrição e classificação dos depósitos é aquele proposto por DELLA FAVERA et al. em /DEL 77/ baseado nas descrições de fácies de /MUT 72/. O sumário do modelo será aqui descrito de modo a apresentar a terminologia que foi utilizada no decorrer deste trabalho.

1 FACIES TURBIDITICAS

1.1 Fácies A

Conglomerados e arenitos grosseiros com grandes espessuras de deposição, textura muito grosseira e estruturas de tração raras ou ausentes. As camadas atingem entre 0,5 a 15,0 metros, com razão arenito/folhelho muito alta a indefinida. A geometria do pacote é acentuadamente lenticular na escala do afloramento devido à erosão e preenchimento de canais.

1.1.1 Fácies A1

Variação da Fácies A contendo conglomerados organizados (seixos com orientação ou em camadas), arenitos seixosos a muito grosseiro comumente amalgamados. As estruturas sedimentares são escassas ou ausentes: algum alinhamento de seixos, gradação normal e, às vezes, laminação incipiente. Ocorrem clastos de folhelho concentrados ou dispersos e estruturas de corte e preenchimento na base das camadas. A deposição se dá por fluxo granular, turbulento denso ou de detritos arenosos.

1.1.2 Fácies A2

Variação da Fácies A com conglomerados desorganizados (caóticos), diamictitos, lamitos seixosos e inclusões plásticas em matriz areno-argilosa. As estruturas

sedimentares são escassas ou ausentes, normalmente deformação plástica na matriz, fragmentos alinhados ou dispersos e graduação inversa. Resulta de deposição de fluxo de detritos e de lama.

1.2 FACIES B

Camadas espessas de arenitos médios a grosseiros com ocasionais grânulos e seixos. No topo, pode ocorrer uma camada ou lâmina pelítica. Apresenta laminação inclinada, marcas de sola, clastos ou lascas de folhelho.

1.2.1 Fácies B1

Fácies B mostrando camadas com geometria lenticular, espessuras entre 0,3 a 2,0 metros, acunhamentos em grandes extensões e "onlap" em flancos de canais. A razão arenito/folhelho é alta a muito alta com rara amalgamação. Da base para o topo mostra conjuntos de lâminas espessas e acunhadas, depois, plano-paralelas, onduladas, com graduação pouco evidente, estruturas "dish" e laminação convoluta. A deposição se dá por fluxos fluidificados ou turbulentos de alta densidade.

1.2.2 Fácies B2

Fácies B onde as camadas atingem 0,2 a 0,8 metros de espessura com geometria marcadamente lenticular. A razão arenito/folhelho é variável, comumente alta; a amalgamação é mais freqüente que em B1. Da base para o topo mostra lâminas espessas, paralelas, cruzadas com graduação pobre ou ausente. A deposição se dá por fluxos de alta concentração.

1.3 FACIES C

Caracterizada por seqüências de Bouma iniciando pela divisão basal Ta, seguida por uma ou mais divisões laminadas. Tipicamente ocorre como uma associação arenito gradacional/folhelho (contém alta razão arenito/folhelho)

com marcas de sola. As camadas atingem entre 0,5 a 3,0 metros, plano-paralelas em escala de afloramento e lenticulares em grande escala. As estruturas sedimentares resumem-se a marcas de sola, acamadamento gradacional, lascas de folhelhos alinhadas ou cabólicas.

1.3.1 Fácies C1

Fácies C onde predominam arenitos finos a grosseiros com esporádica amalgamação, depositados por correntes de turbidez. Intervalos da Seqüência de Bouma : Ta-c-e e Ta-c.

1.3.2 Fácies C2

Fácies C com arenitos finos a médios depositados por correntes de turbidez mais diluídas que em C1. Intervalos da Seqüência de Bouma : Ta-b-c-d-e, Ta-b-c-e e Ta-b-d-e.

1.4 FACIES D

Caracteriza-se pela Seqüência de Bouma faltando o intervalo Ta : arenito laminado fino a folhelho formando depósitos em lençol, às vezes com descontinuidade local, resultado de deposição por correntes de turbidez de baixa densidade. As estruturas sedimentares mais comuns são marcas de sola, ou estratificação cruzada ou convoluta nos arenitos. As camadas mais espessas apresentam laminação paralela. A razão arenito/folhelho é alta, porém menor do que na fácies C.

1.4.1 Fácies D1

Variação da fácies D mostrando intercalação de arenito e folhelho em camadas de 0,03 a 0,4 metros de espessura. Razão arenito/folhelho alta (maior que 1). Intervalos da Seqüência de Bouma : Tb-e, Tc-e e Td-e.

1.4.2 Fácies D₂

Fácies D com intercalação de arenito e folhelho em camadas de 0,3 a 1,5 metros de espessura. Razão arenito/folhelho baixa (menor que 1). Intervalos da Sequência de Bouma : Tb-e, Tc-e e Td-e. As vezes D₂ pode gradar para a Fácies E.

1.4.3 Fácies D₃

Fácies D com camadas de 0,03 a 2,0 metros de folhelho ou siltito, com raros arenitos médios a finos. Razão arenito/folhelho quase zero. Não apresenta estruturas sedimentares, mas a bioturbação é comum. Intervalo de Bouma: Tc-e.

1.5 FACIES E

Arenitos grosseiros a médios ou intercalações arenito-folhelho (alta razão arenito/folhelho) em acamadamento fino, culminando com textura grosseira. A geometria é lenticular e irregular, com acunhamentos mesmo em afloramentos de dimensões limitadas. As camadas possuem entre 0,3 e 2,0 metros com freqüente amalgamação. As estruturas mais freqüentes são laminação cruzada tipo duna, acamadamento ondular e lenticular. Os intervalos de Bouma, quando ocorrem são Ta-e e Tc-e. É espacial e geneticamente relacionada a Fácies B₂. A sedimentação se dá por deposição de fundo, local ou por fluxos gravitacionais concentrados.

1.6 FACIES F

Esta fácies inclui todos os tipos de deposição cáptica, exceto aquelas de fluxo de detritos que geram A₂. Compõe-se de blocos, fragmentos e massas de qualquer litologia formando depósitos de espessura variável até 300 metros. Ocorrem intercalados em acamadamentos regulares, lentes ou blocos isolados, etc. As estruturas sedimentares

normalmente são de deformação: "boudinage", pseudo-nódulos, brechas ou dobras convolutas. A deposição se dá por deslizamentos ou desmoronamentos por gravidade.

1.7 FACIES G

Corresponde a fácies de deposição "normal", hemipelágica intercalada com os depósitos turbidíticos, Abrange os vários tipos de pelitos: folhelhos, argilitos, siltitos argilosos ou margas.

2 SEQUENCIA DE BOUMA

Corresponde a uma seqüência caracterizada pelos intervalos (da base para o topo):

Ta: arenito gradacional ou maciço com marcas de sola na base;

Tb: arenito com laminação paralela;

Tc: arenito com laminação cruzada ou convoluta;

Td: arenito e folhelho (ou siltito) em laminação paralela;

Te: folhelho.

3 ASSOCIAÇÕES DE FACIES /DEL 77/

As subdivisões do sistema deposicional turbidítico com as respectivas associações de fácies são dadas na figura A.1 e a distribuição espacial dessas associações, na figura A.2.

3.1 Associação de Fácies de Talude

Corresponde aos sedimentos depositados na área de transição entre a plataforma e a planície bacial, ou na região de quebra de relevo de uma bacia.

Os sedimentos de talude são constituídos predominantemente por argila e silte, formando camadas extremamente irregulares a partir de uma deposição original plano-paralela. As irregularidades são devidas aos contínuos escorregamentos produzidos pela instabilidade do talude. Algumas vezes preservam-se dobras de escorregamento; mas comumente ficam apenas as cicatrizes erosionais que geram uma superfície deposicional extremamente irregular ("hummocky surface"). A deposição de novas camadas preenchendo as depressões (cicatrizes) e os escorregamentos sucessivos, produzem ao final uma seqüência com múltiplas "discordâncias".

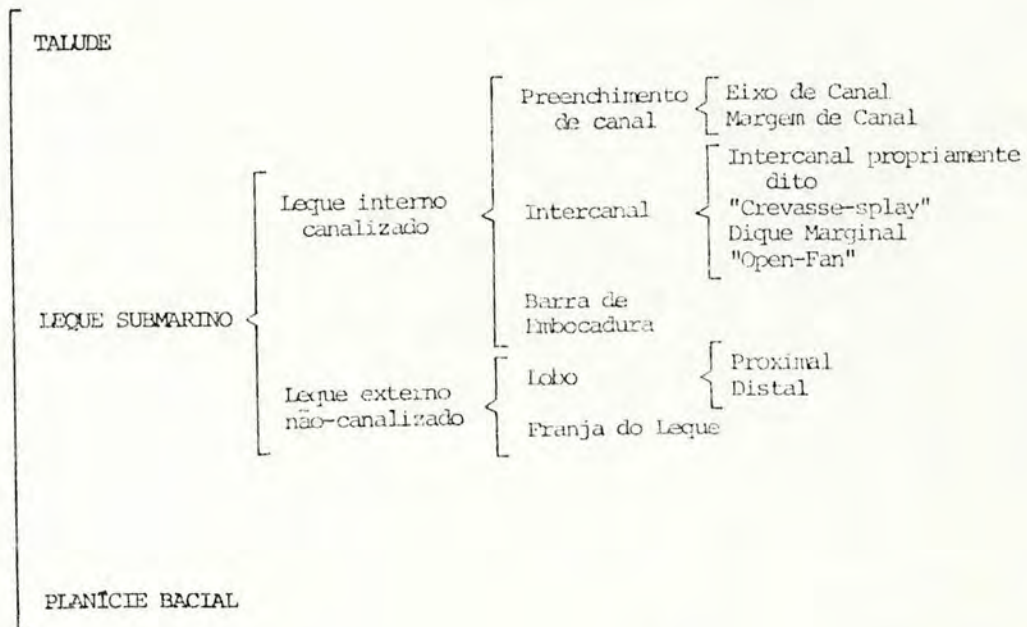
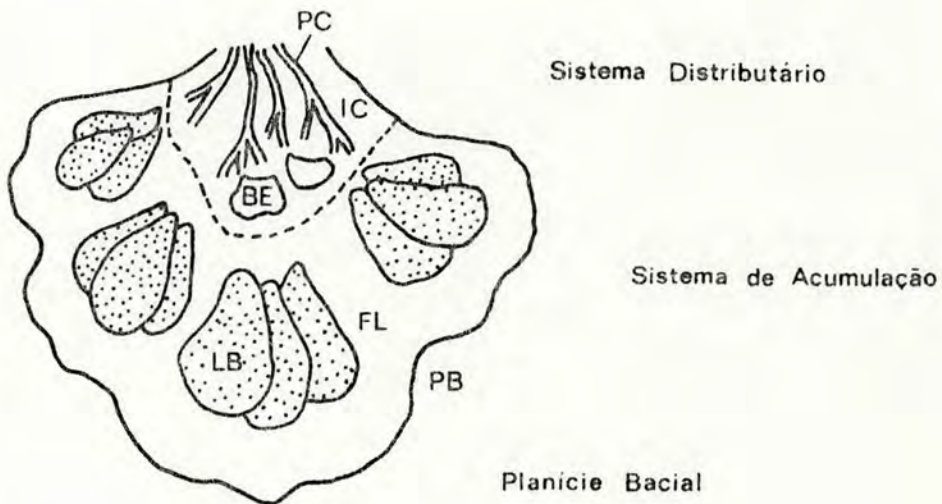


Figura A.1 - Subdivisões do Modelo de Facies Turbidíticas /DEL 77/.

Os sedimentos de talude originam-se a partir das chamadas nuvens t urbidas ("turbid-clouds"), que depositam delgadas camadas granoclassificadas, referidas no máximo aos intervalos Td e Te da Seqüência de Bouma e constituindo a Fácies D3 de Mutti e Ricci-Lucchi. A espessura de cada camada normalmente não ultrapassa 1 cm. Raros corpos de arenito intercalam-se na seqüência, sendo normalmente da fácies intercanal de turbiditos. Corpos de diamictito ("pebbly mudstone") n o são raros.



- PC • preenchimento de canal
- IC • intercanais
- BE • barra de embocadura
- LB • lobo
- FL • franja de leque
- PB • planície bacial

Figura A.2. Modelo deposicional de um sistema turbidítico /DEL 77/.

3.2 Associação de Fácies de Leque Submarino

Corresponde à zona de deposição na base do talude, onde a carga de sedimentos vinda do talude é distribuída através de um sistema de canais.

3.2.1 Sistema de Distribuição ou Leque Interno

Constitui a porção proximal do leque, dominada por canais bem definidos e pouco numerosos.

3.2.1.1 Fácies de Preenchimento de Canal

As fácies que preenchem o canal comumente consistem de um intervalo inferior grosseiro, com camadas espessas, gradacional ou abruptamente sobreposto por fácies mais finas e delgadas, depositadas durante ou logo após o abandono do canal.

A geometria interna dos depósitos de preenchimento indica geralmente que os canais foram cortados num determinado evento e preenchidos em outro. As superfícies de acamadamento dentro dos depósitos tendem a ser paralelas à parte superior dos depósitos e gradualmente recobrem por "onlap" a superfície da base do canal.

Dentro do canal principal, ou mesmo dentro das pequenas unidades acanaladas que o compõem, os depósitos podem ser separados em dois tipos: os de eixo de canal e os de margem de canal.

Os depósitos de eixo de canal são normalmente grosseiros a conglomeráticos na base, constituindo o resíduo de correntes de turbidez que transpassam o canal (Fácies A1). Algumas vezes, as correntes transpassantes retrabalham os depósitos residuais gerando as Fácies B2 e E. Diamictitos (Fácies A2) podem estar presentes. A parte superior é composta por fácies de intercanal que representa a fase de abandono. Eventualmente, estando obstruída

parcialmente a boca do canal, as correntes de turbidez depositam quase toda sua carga grosseira dentro do canal, através do mecanismo de retrodeposição ("back-filling"), gerando a fácies C. Feições de acunhamento rápido ("wedging" e "lensing") são comuns e características nos depósitos de eixo de canal.

Os depósitos de margem de canal, ainda em sua parte interna, constituem a extensão dos depósitos do eixo, recobrendo por "onlap" as paredes do canal. Compõem-se de areia fina e silte (alta razão arenito/folhelho) com camadas delgadas a muito delgadas, separadas por superfícies regulares, suavemente onduladas. As estruturas internas formam "climbing beds", onde cada camada com "ripples" sobrepõe a anterior com diferença de fase, intercalando-se entre elas uma camadas de "ripples" sinusoidais.

RELAÇÕES DE FÁCIES DE CANAL E INTERCANAL DE TURBIDITOS

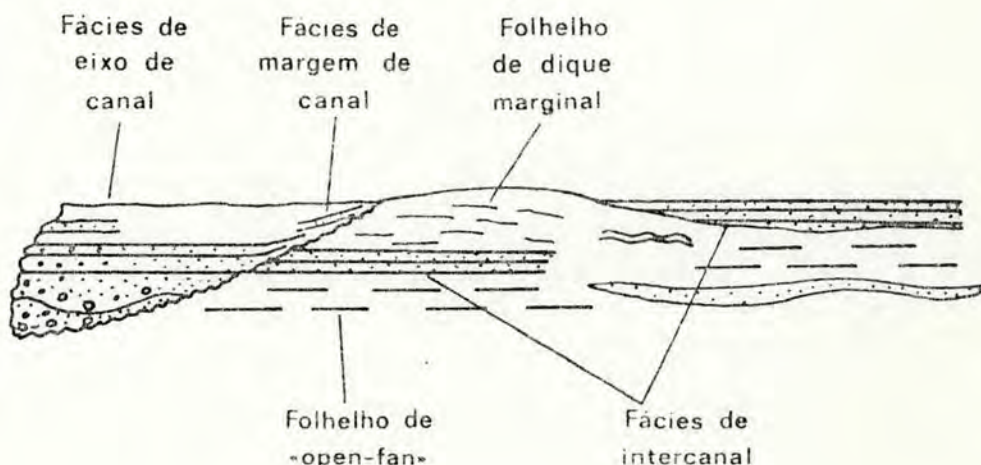


Figura A.3. Relações entre as fácies de canal e intercanal de turbiditos. (Adaptado de <MUT 77/>.)

A fácies de margem de canal é interpretada como gerada a partir de suspensões relativamente diluídas derivadas de fluxos densos no eixo do canal. A fácies de margem de canal é por sua vez, cortada por canais menores, preenchidos pelo mesmo tipo de sedimento que cortaram. Estas feições resultam do rompimento das paredes do canal ("crevassing") através de correntes muito fortes que fluíram para fora dos canais principais durante os estágios de transbordamento. Tais canais são preenchidos normalmente pela fácies de margem numa fase posterior.

3.2.1.2 Fácies de Intercanal

Consiste de pacotes de poucos metros de espessura encerrando miríades de intercalações de arenito, siltito e folhelho (Fácies D1 e D2). Os pacotes são repetitivos e se alternam com depósitos de canais, folhelhos do dique marginal, além de depósitos puramente argilosos das regiões intercanais ("open fan"). A razão arenito/folhelho é moderada a baixa (em torno de 0.5). Sequências apresentando apenas os intervalos Td-e e Tc-e da Sequência de Bouma são as estruturas internas mais comuns.

Cada pacote de fácies intercanal apresenta contatos transicionais com os sedimentos que o limitam verticalmente. A transição é feita geralmente por aumento ou decréscimo de espessura das camadas de arenito.

As superfícies de acamamento, aparentemente paralelas e regulares, mostram acunhamento ou lenticularidade em menor escala. O próprio pacote contendo a fácies intercanal grada lateralmente a folhelhos do "open fan". Cada delgada sequência incompleta de Bouma desta fácies representa um evento de corrente de turbidez que transbordou do canal.

Intercaladas nos sedimentos da fácies de intercanal ou folhelhos do "open-fan", ocorrem camadas

apresentando a Sequência de Bouma com os intervalos Tb-e , ou mais raramente Ta-e. Essas camadas, em forma de canais rasos e amplos, algumas vezes com múltiplos truncamentos basais consistem nos depósitos de rompimento de canal ("crevasse"). Se o canal de rompimento atingir um caráter quase permanente, os depósitos de "crevasse" podem se tornar bastante expressivos, chegando a formar pequenos lobos deposicionais na região intercanal.

3.2.1.3 Fácies de Barra de Embocadura

A barra de embocadura consiste nos depósitos da boca dos canais do sistema de distribuição. Normalmente não forma depósitos expressivos, apenas alguns poucos metros de espessura. Em função das estruturas internas e tamanho de grão, pode ser separada em fácies grosseira e fácies fina.

Na fácies grosseira, é comum a estratificação cruzada de grande escala em arenitos de granulagem média a grosseira da Fácies B2 com B1 e C1 associadas. As estruturas indicam deposição por tração em regime de fluxo superior terminando no inferior.

A fácies fina mostra um padrão de acamamento extremamente irregular, com descontinuidades laterais ou lenticularidades. O tamanho de grão varia de areia grossa a fina. As estruturas internas compreendem lâminas cruzadas de pequena ou grande escala e, ocasionalmente, lâminas paralelas.

Tanto a fácies grosseira como a fina representam deposição onde predomina a tração. Correntes de turbidez que transpassam a boca dos canais ativos, ao passar de fluxo confinado para não confinado, deixam cair parte da sua carga de suspensão. O material residual é retrabalhado por processos de tração pela cauda da mesma corrente ou então por correntes subsequentes.

3.2.2 Sistema de Acumulação ou Leque Externo

Parte distal do leque submarino dominadas por canais entrelaçados e em grande número.

3.3.2.1 Lobos Depositionais

Constituem os locais de máxima acumulação de areia numa bacia turbidítica. Os corpos de arenito, em camadas espessas a maciças, pertencem principalmente às Fácies C1, C2 e B1 e os sedimentos mais finos e em camadas mais delgadas são compostos geralmente pelas Fácies D1 e D2.

A forma global dos depósitos é de amplas lentes com topo convexo. A acentuada regularidade das camadas permite correlações detalhadas à longa distância.

As feições características dos lobos resumem-se por

- a) ausência de canalização basal;
- b) geometria lenticular em corte transversal;
- c) transição gradual com os depósitos finos subjacentes;
- d) ocorrência frequente de ciclos distintos de aumento de grão e espessamento ascendente.

Embora de caráter geral progradacional, a maior parte dos sedimentos do leque externo evolui como complexos sedimentares formados pela superposição de pequenos ciclos deposicionais, dentro do mesmo corpo.

Próximo à boca dos canais turbidíticos, os lobos possuem uma razão arenito/folhelho maior, compondo-se das Fácies C1, C2 e D1, com camadas espessas e maciças. São então chamados de lobos proximais.

O lobos distais, por outro lado, situam-se na periferia dos leques. Tendem a ser mais delgados e

expressos por ciclos progradacionais que se relacionam a um ou poucos eventos deposicionais distintos. Compõem-se das Fácies C2, D1 e D2, que por sua vez representam uma menor razão arenito/folhelho.

Os lobos proximais originam-se da deposição de material por correntes de turbidez muito concentradas, que se diluem progressivamente até o final da planície bacial. Nos lobos distais, a diluição e a aceleração das correntes já estão bastante adiantadas.

3.3.2.2 Franja do Leque

Compreende uma associação de fácies que é transicional entre o leque externo e os depósitos de planície bacial.

Incluem parte dos lobos distais (também chamados de franja do lobo), porém as litologias apresentam menor razão arenito/folhelho e menor espessura das camadas de arenito (Fácies D1 e D2, principalmente). Conservam o caráter cíclico observado nos lobos e o acamamento plano-paralelo, que pode ser seguido por longas distâncias.

Os sedimentos da franja de leque representam deposição de correntes de turbidez extremamente diluídas, que já deixaram sua carga mais grosseira nos lobos.

3.3.3 Planície Bacial

Os depósitos de planície bacial constituem seqüências monótonas, não-cíclicas, onde se alternam finas camadas de arenito, siltito, argilito e marga hemipelágica.

As seqüências predominantes não apresentam os intervalos basais Ta e Tb da Seqüência de Bouma, sendo do tipo Tc-e (Fácies D2 e D3). As superfícies de acamamento são extremamente regulares e paralelas, independentemente da escala do afloramento. As laminações cruzadas do

intervalo Tc apresenta o padrão "climbing" mostrando ângulos muito baixos. Nos arenitos nunca ocorrem grãos mais grossos do que areia fina ou muito fina.

As camadas turbidíticas alternam-se regularmente com unidades hemipelágicas (Fácies G) resultantes da deposição normal de fundo marinho. Essas unidades são altamente bioturbadas e contêm vasas de foraminíferos planctônicos e cocólitos. A quantidade de material hemipelágico é controlada pela distância da fonte, ou melhor, pela taxa de sedimentação turbidítica.

Os depósitos de planície bacial resultam do transporte e deposição de material, através de uma bacia muito plana, por correntes de turbidez muito diluídas em contínua e adiantada desaceleração.

ANEXO 2

EXEMPLO DE UMA SESSAO DE CONSULTA

A seguir, é transcrita uma parte do texto de uma sessão de consulta normal com o GEOXPRT. Para auxiliar a compreensão, os sinais "---" indicam as trocas de tela. As entradas do usuário são indicadas por "->".

A> GEOXPRT

LISP GEOXPRT.SYS

G E O X P E R T
Versão 3.0 - Dezembro de 1988
P.G. CIENCIA DA COMPUTAÇÃO - UFRGS

G E O X P E R T

GEOXPRT é um sistema especialista para classificação utilizado em Geologia. Você deve escolher o assunto que quer analisar e responder as questões.

As opções de resposta são:

S - Sim

N - Não

D - Dúvida

? - Obter uma explicação sobre a pergunta.

T - Acessar um tutorial do assunto.

R - Obter um resumo das conclusões da sessão.

Tecla ESC - Encerrar a sessão.

Com qual banco de conhecimentos você quer trabalhar?

-> TURBID.BCO

Selecione com | - | Tecla RETURN para ativar a opção.

Este sistema verifica a possibilidade da área em estudo conter depósitos turbidíticos, utilizando a descrição de fácies de MUTTI e RICCI LUCCHI (1972) e as correspondentes associações que definem o MODELO DE MUTTI, proposto nos anos 70.

Apesar deste modelo estar hoje bastante modificado, principalmente quanto as relações temporais entre os subambientes, continuam valendo as relações entre fácies e ambientes nele estabelecidas .

Serão questionados aspectos de ambiente de deposição e reconhecimento de fácies, segundo os critérios utilizados por DELLA FAVERA "(DIVEX/CENPES/PETROBRAS)" para análise de depósitos de água profunda.

Tecla RETURN para ativar a opção.

E S C O L H A

- > Profundidade do AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
- Associação de Fácies de TALUDE
- Associação de Fácies de LEQUE INTERNO
- Associação de Fácies de LEQUE EXTERNO
- Associação de Fácies de PLANÍCIE BACIAL
- Avaliação Final da Sessão
- Encerrar o GEOXPRT

Selecione com | - | Tecla RETURN para ativar a opção.

Profundidade do AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO

A profundidade da deposição é um dos elementos mais importantes para definir a presença de turbiditos em ambiente marinho.

Segundo Mutti, turbiditos são sedimentos de água profunda, abaixo do nível de ação das ondas de tempestade (cerca de 200m de profundidade nas condições atuais). Acima desta profundidade, não ocorre preservação dos depósitos.

Para ambientes lacustres a determinação de profundidade depende da análise faciológica, uma vez que os registros de biota não são elucidativos .

As perguntas que se seguem irão explorar as características que determinem a que profundidade ocorreu a deposição dos sedimentos.

Aguarde carregar o arquivo
Tecla RETURN para continuar

1 - Existem indicações de que a deposição se deu abaixo do nível de compensação da calcita ?

-> D

Esta informação é essencial para a análise em questão. As próximas perguntas buscarão defini-las acertadamente.

Os sedimentos apresentam cimentos predominantemente de sílica em detrimento a carbonatos?

-> S

Ocorrem radiolários e foraminíferos arenáceos nos sedimentos

-> S

Ok! Já temos nossa conclusão:

A deposição ocorreu a profundidade superior a 3000 m.

O conteúdo fóssil indica deposição em altas profundidades.

2 - O depósito em questão mostra-se como camadas regulares, monótonas, preferencialmente plano-paralelas em grande escala ?

-> S

3 - Você identificou estromatólitos autóctones na sequência ?

-> N

4- A presença de tempestitos é crucial para definir profundidade, uma vez que o ambiente de água profunda é considerado a partir da base de ação das ondas de tempestade.

Há expressiva ocorrência de tempestitos na unidade ?

-> ?

Tempestitos são depósitos originados por ondas de tempestades que mobilizam grande volume de material. Sua característica principal é a estratificação cruzada hummocky.

Há expressiva ocorrência de tempestitos na unidade ?

-> D

Esta informação é essencial para a análise em questão. As próximas perguntas buscarão defini-las acertadamente.

Você encontrou estratificação cruzada hummocky nos depósitos ?

-> D

Não foi obtida informação conclusiva.

5 - Você identificou a presença de diamictitos na área?

-> S

6 - Os diamictitos contêm fósseis identificáveis ?

-> S

7- Você reconheceu fósseis de ambiente nerítico entre os espécimes da litologia ?

-> ?

Os diamictitos implicam na existência de talude para que ocorra um deslizamento tipo "debris-flow". A presença de fósseis de água rasa indica que eles foram transportados daquele ambiente para onde o material se depositou.

Você reconheceu fósseis de ambiente nerítico entre os espécimes da litologia ?

-> R

Ate'o momento podemos concluir:

A deposição ocorreu a profundidade superior a 3000 m.

O conteúdo fóssil indica deposição em altas profundidades.

Ocorre uma quebra de relevo na região, possivelmente o talude.

Você reconheceu fósseis de ambiente nerítico entre os espécimes da litologia ?

-> S

8 - A deposição de sedimentos em águas profundas guarda diferentes registros segundo o período geológico em que ocorreu a sedimentação. A idade das rochas em questão é um importante dado para determinar profundidade.

Você pode determinar a idade provável do pacote sedimentar?

-> S

9 - As rochas em questão são mais antigas do que o Ordoviciano ?

-> ?

A deposição ocorreu a mais de 500 milhões de anos.

As rochas em questão são mais antigas do que o Ordoviciano?

-> N

10 - A deposição ocorreu entre o Ordoviciano e o Jurássico?

-> S

11 - Fósseis, quando presentes na litologia são dados diagnósticos para determinar o ambiente de deposição dos sedimentos.

Você quer analisar as espécies fósseis da unidade em estudo?

-> N

12 - Algumas estruturas são muito típicas para deposição em ambientes de menor profundidade de lâmina d'água. As próximas perguntas identificam feições que NAO devem aparecer em ambiente marinho profundo.

Você reconheceu estruturas do tipo marcas de onda e dunas nas litologias em questão ?

-> N

13 - Ocorrem estruturas do tipo pingos de chuva nas frações mais finas da unidade ?

S

Você respondeu afirmativamente às questões:

"Os sedimentos apresentam cimentos predominantemente de sílica em detrimento a carbonatos ? "

"Ocorrem radiolários e foraminíferos arenáceos nos sedimentos ? "

Suas respostas são inconsistentes ! A menos que você esteja certo de sua observação, sugiro que você altere sua última resposta ou reinicie a sessão para alterar as anteriores (Tecla ESC).

Responda novamente.

-> N

14- Você identificou a presença de corais ou algas vermelhas autóctones nas rochas em questão ?

-> N

Com base em suas respostas podemos concluir :

A deposição ocorreu a profundidade superior a 3000 m. O conteúdo fóssil indica deposição em altas profundidades. Ocorre uma quebra de relevo na região, possivelmente o talude.

Presença de fósseis neríticos em diamictitos indicando transporte de material e deposição em água profunda.

O pacote sedimentar é de idade anterior ao final do Jurássico.

As características do depósito indicam que a deposição se deu em ambiente de águas profundas, ou seja, abaixo do nível das ondas de tempestade ou de retrabalhamento efetivo das ondas normais. Uma vez que se acumulem depósitos turbidíticos neste local, as estruturas de deposição podem ser preservadas.

Adequação ao Modelo: 83 %

Tecla RETURN para continuar

E S C O L H A

- Profundidade do AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
 -> Associação de Fácies de TALUDE
 Associação de Fácies de LEQUE INTERNO
 Associação de Fácies de LEQUE EXTERNO
 Associação de Fácies de PLANÍCIE BACIAL
 Avaliação Final da Sessão
 Encerrar o GEOXPRT

Selecione com | - | Tecla RETURN para ativar a opção.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DE TALUDE

A Associação de Fácies de Talude compõe-se de sedimentação de fundo marinho, depositada entre a plataforma e o sopé do talude. Devido a situação proximal da área de sedimentação, recebe grande aporte de material da plataforma na forma de preenchimento de canais. São muito comuns feições cábticas de deslizamento. As perguntas que se seguem buscam definir se o depósito de água profunda em questão corresponde a TURBIDITOS DE TALUDE.

Tecla RETURN para continuar

1- Você quer revisar as características da Associação de Fácies de Talude ?

-> S

A Associação de Fácies de Talude é constituída fundamentalmente de argila e silte, formando camadas irregulares a partir de uma disposição inicial plano-paralela. Fácies cábticas de deslizamento são comuns.

2- Existe possibilidade do depósito em questão corresponder a uma associação de talude ?

-> N

Baseado em suas respostas podemos concluir:

Os dados NAO correspondem a uma Associação de Fácies de TALUDE.

E S C O L H A

Profundidade do AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
 Associação de Fácies de TALUDE
 -> Associação de Fácies de LEQUE INTERNO
 Associação de Fácies de LEQUE EXTERNO
 Associação de Fácies de PLANÍCIE BACIAL
 Avaliação Final da Sessão
 Encerrar oo GEOXPRT

Selecione com | - | Tecla RETURN para ativar a opção.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DE LEQUE INTERNO

As perguntas a seguir buscam definir se a associação de fácies do depósito que está sendo analisado corresponde a turbiditos de LEQUE SUBMARINO, porção do SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO ou LEQUE INTERNO. O Sistema de Distribuição divide-se em fácies de PREENCHIMENTO DE CANAL, fácies de INTERCANAL e BARRA DE EMOCADURA.

Tecla RETURN para continuar.

1- Você quer verificar as características das fácies de Sistema de Distribuição ou Leque Interno ?

-> S

O sistema de distribuição do leque submarino corresponde ao conjunto de canais de alimentação da parte superior do leque submarino, aos depósitos entre estes canais e as acumulações em suas porções terminais. A litologia predominante compõe-se de sedimentos grosseiros, com granodecrescência ascendente preenchendo canais, sedimentos finos de intercanal e com estruturas de tração nas barras de embocadura.

2 - O depósito em questão pode ser de leque interno ?

-> S

Vamos tentar identificar características de fácies de preenchimento de canal. Dentro de um canal principal os depósitos podem ser separados em dois tipos : os de EIXO DE CANAL e os de MARGEM DE CANAL. As perguntas que se seguem buscam reconhecer depósitos de eixo de canal.

3 - Você reconheceu sedimentos da Fácies A1 no depósito ?

-> ?

Fácies A1 corresponde a conglomerados organizados, arenitos seixosos a médio-grosseiros, resultantes da amalgamação de depósitos residuais ("lag deposit") de correntes de turbidez.

Você reconheceu sedimentos da Fácies A1 no depósito ?

-> n

4 - Você reconheceu diamictitos na unidade ?

-> S

Atenção, certos conglomerados formados por clastos de argila, ao se compactarem, adquirem um aspecto semelhante a diamictitos, embora sejam da Fácies A1 .

5 - Você está certo de que a litologia em questão corresponde a diamictitos ou Fácies A2 ?

-> D

Essa informação é essencial para a análise em questão.

As próximas perguntas buscarão defini-la acertadamente.

Conglomerados da Fácies A1 formados por clastos de argila, ao serem amalgamados, podem assumir aspecto semelhante a diamictitos devido a formação de uma pseudo-matriz argilosa. A presença de seixos de argila que preservam um revestimento endurecido ao rolarem sobre o fundo, as "armored mud balls", são indicativas de conglomerados deste tipo.

6 - Você reconheceu "armored mud balls" nos diamictitos ?

-> S

Ok! Já temos a nossa conclusão:

Os conglomerados de eixo de canal compõe-se de seixos argilosos amalgamados.

7 - As camadas de arenitos e conglomerados mostram granodecrescência ascendente ?

-> S

8 - Você reconheceu estruturas de corte e preenchimento nos depósitos ?

-> S

9 - Ocorrem estruturas do tipo "wedging" e "lensing" nos arenitos e conglomerados ?

-> ?

Os depósitos residuais de correntes de turbidez são de pequena expressão, depositando-se na forma de cunhas e lentes no interior do canal.

Ocorrem estruturas do tipo "wedging" e "lensing" nos arenitos e conglomerados ?

-> d

10 - Você identificou Fácies B2 e E nos depósitos ?

-> N

11 - Ocorrem sedimentos da Fácies C na unidade ?

-> ?

Fácies C corresponde a uma ou mais camadas apresentando a seqüência de Bouma, completa (Ta-e) ou incompleta (Tb-c, Tc-e, Ta).

Ocorrem sedimentos da Fácies C na unidade ?

-> S

A presença de Fácies C , normalmente característica do sistema de acumulação, quando aparece nos depósitos de eixo de canal podem indicar retrogradação do sistema ou uma obstrução da boca do canal, causando "back-filling".

12 - Os depósitos da Fácies C ocorrem em quantidades expressivas ?

-> N

Depósitos pouco espessos e de ocorrência localizada da Fácies C indicam uma obstrução parcial ou completa da boca do canal, fazendo com que as correntes de turbidez depositem sua carga grosseira dentro do canal por retrodeposição ou "back-filling".

13 - A fácies C constitui depósitos pouco espessos e localizados na unidade ?

-> S

Dentro do canal principal, os depósitos podem ser separados em dois tipos: depósitos de EIXO e de MARGEM DE CANAL. Depósitos de MARGEM DE CANAL são formados pela continuação dos depósitos de eixo em direção "às" paredes do canal ou DIQUE MARGINAL. Suas características serão questionadas a seguir.

14 - Você identificou camadas finas e regulares de areia fina e silte da Fácies D1 nos depósitos ?

-> R

Até o presente momento pode-se concluir:

Estruturas de corte e preenchimento identificam processos de formação de canais.

Os conglomerados de eixo de canal compõem-se de seixos argilosos amalgamados.

A presença de Fácies C identifica retrogradação do sistema por obstrução de canais.

Você identificou camadas finas e regulares de areia fina e silte da fácies D1 nos depósitos ?

-> S

15 - Você reconheceu "climbing bed" nas camadas ?

-> ?

As estruturas de "'climbing beds'" formam-se da superposição de sucessivas camadas com "'ripples'" em diferença de fase, intercalando-se entre elas camadas de "ripples" sinusoidais. Ocorrem nos depósitos de margem de canal.

Você reconheceu "climbing bed" nas camadas ?

-> N

O DIQUE MARGINAL resulta de acreção vertical de argila nas margens do canal. O material que o compõe é fundamentalmente argiloso, praticamente a areia é ausente.

16 - Ocorrem depósitos espessos de argila associados lateralmente às litologias do eixo de canal ?

- > S

Devido a eventuais obstáculos na boca do canal, eventualmente o fluxo é desviado lateralmente rompendo o dique marginal e formando acumulações de sedimentos grosseiros na região intercanal. São os depósitos de "crevasse".

17 - Você identificou canais menores cortando as camadas da fácies D1 ?

-> ?

Estas feições são interpretadas como rompimento das margens do canal ("'crevassing'") através de correntes muito fortes originadas nos estágios de transbordamento. Posteriormente, estes canais são preenchidos por fácies de margem em uma fase posterior.

Você identificou canais menores cortando as camadas da
Fácies D1 ?

-> S

Entre os depósitos de canal do sistema de distribuição do
leque submarino ocorrem acumulações da fácies de INTERCANAL
que resultam do transbordamento do material fino durante a
passagem da corrente de turbidez.

18 - Você reconheceu sedimentos das Fácies D1 e D2 na
sequência ?

-> S

19 - As ocorrências de arenito, siltito e folhelho se dão
como intercalações complexas de inúmeras camadas de
pequeno porte ?

- > ?

Cada delgada sequência das Fácies D1 e D2 corresponde a
um evento de corrente de turbidez que transbordou do canal.

As ocorrências de arenito, siltito e folhelho se dão como
intercalações complexas de inúmeras camadas de pequeno
porte ?

- > D

20 - O pacote de sedimentos da Fácies D atinge, no máximo,
alguns metros de espessura ?

- > S

21 - Os contatos entre a fácies de intercanal e os demais
sedimentos que a limitam são transicionais ?

-> S

22 - O pacote que contém a fácies de intercanal grada lateralmente a folhelhos ?

-> S

23 - Ocorrem camadas da Fácies C, sob forma de canais amplos e rasos?

-> N

Ate' o momento, examinamos as características dos depósitos de canais e intercanais que, associados aos depósitos de barra de embocadura, compõe o Leque Interno de um sistema turbidítico. A fácies de BARRA DE EMBOCADURA são as acumulações resultantes do salto hidráulico na boca dos canais ("hydraulic jump"). Possuem natureza essencialmente tracional.

24 - Você reconheceu Fácies E no depósito ?

-> ?

A Fácies E consiste de intercalações de arenitos finos a médios com argila apresentando estratificação lenticular ("linsen") e ondular ("wavy"), muito semelhantes às que ocorrem nas planícies de marê.

Você reconheceu Fácies E no depósito ?

-> S

25 - Você reconheceu arenitos médios a grosseiros da Fácies B2 associados a Fácies E ?

-> S

Com base em suas respostas podemos concluir:

Estruturas de corte e preenchimento identificam processos de formação de canais.

A presença de Fácies C identifica retrogradação do sistema por obstrução de canais.

Os conglomerados de eixo de canal compoem-se de seixos argilosos amalgamados.

Na boca dos canais ocorrem depósitos de barra de embocadura.

Os depósitos de margem de canal compõe-se de intercalações de arenito e siltito.

Depósitos de argila compoem diques marginais nas laterais dos canais.

Ocorrem depósitos de intercanal compostos dos intervalos Tb-e e Tc-e de Bouma.

O depósito em questão contém turbiditos de LEQUE SUBMARINO, porção do SISTEMA DE DEPOSICAO ou LEQUE INTERNO. Corresponde a parte mais proximal do Leque Submarino que recebe grande aporte de sedimentação grosseira e é dominada por canais.

Adequação ao modelo: 100 %

E S C O L H A

- Profundidade do AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
 Associação de Fácies de TALUDE
 Associação de Fácies de LEQUE INTERNO
 -> Associação de Fácies de LEQUE EXTERNO
 Associação de Fácies de PLANÍCIE BACIAL
 Avaliação Final da Sessão
 Encerrar o GEOXPRT

Selecione com | - | Tecla RETURN para ativar a opção.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DE LEQUE EXTERNO

As próximas perguntas referem-se às características de depósitos turbidíticos de LEQUE SUBMARINO, porção do SISTEMA DE ACUMULAÇÃO ou LEQUE EXTERNO.

O Leque Externo corresponde a porção mais distal do Leque Submarino, dominada por inúmeros canais entrelaçados e de pequeno porte. Predomina sedimentação média a fina.

1 - Você quer verificar as características das fácies do SISTEMA DE ACUMULAÇÃO ou LEQUE EXTERNO ?

-> n

1- A forma dos depósitos corresponde a lentes de topo convexo?

-> S

2 - As camadas mostram granocrescência e espessamento ascendente ?

-> S

3 - As camadas apresentam acentuada regularidade na forma e extensão ?

-> S

4 - O conjunto de camadas apresenta padrões repetitivos (cíclicos) ?

-> S

5 - Você reconheceu sedimentos da Fácies C e D na seqüência ?

-> ?

Fácies C caracteriza-se pela Seqüência de Bouma: arenito gradacional a folhelho com marcas de sola. Fácies D corresponde a Tb-e, ou seja, arenito laminado fino a folhelho.

Você reconheceu sedimentos da Fácies C e D na seqüência ?

-> S

6 - Os sedimentos da Fácies C1 e C2 predominam sobre aqueles da Fácies D ?

-> S

7 - Você reconheceu estruturas tipo canais nos depósitos ?

-> ?

A presença de canais indica uma deposição em zona mais proximal do leque submarino, ou talvez corresponda a um depósito de leque interno.

Você reconheceu estruturas tipo canais nos depósitos ?

-> S

8 - Os canais em questão são ocorrências esparsas e de pequeno porte ?

-> N

Com base em suas respostas, podemos concluir:

Os depósitos tem forma lobada.

O depósito corresponde ao lobo proximal.

A unidade em questão contém turbiditos da associação de fácies de LEQUE EXTERNO ou SISTEMA DE ACUMULAÇÃO, ou seja, a área de deposição mais distal atingida por uma corrente de turbidez, antes da planície bacial. A sedimentação é fina, (arenitos finos e folhelhos) uma vez que a corrente está diluída neste momento da deposição, e as camadas são muito regulares. Ocorrem ciclos de granocrescimento e espessamento ascendente correlacionáveis à Sequência de Bouma.

Adequação ao modelo: 54 %

E S C O L H A

Profundidade do AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
 Associação de Fácies de TALUDE
 Associação de Fácies de LEQUE INTERNO
 Associação de Fácies de LEQUE EXTERNO
 -> Associação de Fácies de PLANÍCIE BACIAL
 Avaliação Final da Sessão
 Encerrar o GEOPERT

Selecione com | - | Tecla RETURN para ativar a opção.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DE PLANÍCIE BACIAL

A Planície Bacial acumula os depósitos turbidíticos resultantes do transporte e deposição das porções finais da corrente turbidítica. Forma seqüências monótonas, não-cíclicas de arenitos finos, siltitos, argilitos e margas hemipelágicas.

A seqüência de perguntas que se segue refere-se às características de depósitos turbidíticos de PLANÍCIE BACIAL.

A seqüência de perguntas refere-se a depósitos turbidíticos de PLANÍCIE BACIAL.

1- Você quer rever as características da Associação de Fácies de PLANÍCIE BACIAL ?

-> S

A PLANÍCIE BACIAL encerra depósitos turbidíticos resultantes do transporte e deposição de correntes de turbidez muito diluídas. São independentes e onlapam o leque submarino. Formam seqüências monótonas não-cíclicas, onde se alternam finas camadas de arenito, siltito, argilito e margas hemipelágicas.

2 - O depósito em estudo pode corresponder a uma Associação de Planície Bacial ?

-> D

3 - Existem na unidade em questão rochas de granulometria fina a muito fina?

-> ?

Como as correntes de turbidez que atingem planície bacial já perderam a maior parte da carga de sedimentos, normalmente não se depositam nesta zona sedimentos mais grosseiros como arenitos médios a conglomerados da Fácies A.

Existem na unidade em questão rochas de granulometria fina a muito fina?

-> N

Com base em suas respostas podemos concluir:

A unidade em questão NÃO corresponde a uma associação de fácies de PLANÍCIE BACIAL.

E S C O L H A

Profundidade do AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
 Associação de Fácies de TALUDE
 Associação de Fácies de LEQUE INTERNO
 Associação de Fácies de LEQUE EXTERNO
 Associação de Fácies de PLANÍCIE BACIAL
 -> Avaliação Final da Sessão
 Encerrar oo GEOXPRT

Selecione com | - | Tecla RETURN para ativar a opção.

A partir da análise efetuada podemos concluir:

As características do depósito indicam que a deposição se deu em ambiente de águas profundas, ou seja, abaixo do nível das ondas de tempestade ou de retrabalhamento efetivo das ondas normais. Uma vez que se acumulem depósitos turbidíticos neste local, as estruturas de deposição podem ser preservadas.

Adequação ao Modelo: 83 %

Na área em questão predomina a Associação de Fácies de Leque Interno, ocorrendo secundariamente feições da Associação de Fácies de Leque Externo.

Descrição das Associações de Fácies:

O depósito em questão contém turbiditos de LEQUE SUBMARINO, porção do SISTEMA DE DEPOSIÇÃO ou LEQUE INTERNO. Corresponde a parte mais proximal do Leque Submarino que recebe grande aporte de sedimentação grosseira e é dominada por canais.

Adequação ao modelo: 100 %

A unidade em questão contém turbiditos da associação de fácies de LEQUE EXTERNO ou SISTEMA DE ACUMULAÇÃO, ou seja, a área de deposição mais distal atingida por uma corrente de turbidez, antes da planície bacial. A sedimentação é fina, (arenitos finos e folhelhos) uma vez que a corrente

estã diluída neste momento da deposição, e as camadas são muito regulares. Ocorrem ciclos de granocrescência e espessamento ascendente correlacionáveis à Sequência de Bouma.

Adequação ao Modelo: 54 %

ANEXO 3

LISTAGEM DO BANCO DE CONHECIMENTO DO GEOXPRT

ARQUIVO "TURBID.BCO"

banco TURBID

titulo { IDENTIFICACAO E CLASSIFICACAO DE TURBIDITOS }

apres { Este sistema verifica a possibilidade de uma area em estudo conter depositos turbiditicos, utilizando a descricao de facies de MUTTI e RICCI LUCCHI (1972) e as correspondentes associacoes que definem o MODELO DE MUTTI, proposto nos anos "70" . Apesar deste modelo estar hoje bastante modificado, principalmente quanto as relacoes temporais entre os subambientes, continuam valendo as relacoes entre facies e ambientes nele estabelecidas . Serao questionados aspectos de ambiente de deposicao e reconhecimento de facies, segundo os criterios utilizados por DELLA FAVERA ("DIVEX/CENPES/PETROBRAS") para analise de depositos de agua profunda. Analise as subdivisoes do modelo na proxima tela e responda as perguntas que se seguem. }

conjuntos {"Profundidade do AMBIENTE DE DEPOSICAO"
 "Associacao de Facies de TALUDE"
 "Associacao de Facies de LEQUE INTERNO"
 "Associacao de Facies de LEQUE EXTERNO"
 "Associacao de Facies de PLANICIE BACIAL" }

arquivos { AQPROF.CNJ TALUDE.CNJ LEQINT.CNJ LEQEXT.CNJ
 PLBACI.CNJ }

abertura { AQPROF.CNJ A profundidade da deposicao "e" um dos elementos mais importantes para definir a presenca de turbiditos em ambiente marinho. Segundo Mutti, turbiditos sao sedimentos de agua profunda, abaixo do nivel de acao das ondas de tempestade (cerca de 200m de profundidade nas condicoes atuais). Para ambientes lacustres a determinacao de profundidade depende da analise faciologica, uma vez que os registros de biota nao sao elucidativos . As perguntas que se seguem irao explorar caracteristicas que determinem a que profundidade ocorreu a deposicao dos sedimentos. }

{ TALUDE.CNJ A Associação de Facies de Talude compoe-se de sedimentacao de fundo marinho, depositada entre a plataforma e o sope' do talude. Devido a situacao proximal da area de sedimentacao, recebe grande aporte de material da plataforma na forma de preenchimento de canais. Sao muito comuns feicoes caoticas de deslizamento. As perguntas que se seguem buscam definir se o deposito de agua profunda em questao corresponde a TURBIDITOS DE TALUDE. }

{ LEQINT.CNJ As perguntas a seguir buscam definir se a associacao de facies do deposito que esta' sendo analisado corresponde a turbiditos de LEQUE SUBMARINO, porcao do SISTEMA DE DISTRIBUICAO ou LEQUE INTERNO . O Sistema de Distribuicao corresponde a porcao mais proximal do Leque Submarino onde predomina um sistema de canais com sedimentacao grosseira. Divide-se em facies de PREENCHIMENTO DE CANAL, facies de INTERCANAL e BARRA DE EMBOCADURA. }

{ LEQEXT.CNJ As proximas perguntas referem-se "'as" características de depositos turbiditicos de LEQUE SUBMARINO, porcao do SISTEMA DE ACUMULACAO ou LEQUE EXTERNO . O Leque Externo corresponde a porcao mais distal do Leque Submarino, dominada por inumeros canais entrelacados e de pequeno porte. Predomina sedimentacao media a fina. }

{ PLBACI.CNJ A sequencia de perguntas refere-se 'as características de depositos turbiditicos de PLANICIE BACIAL . A Planicie Bacial corresponde a area mais distal de deposicao por uma corrente turbiditica. A sedimentacao 'e predominantemente fina em sequencias monotonas que se alternam com a sedimentacao normal de fundo marinho. }

FIM

ARQUIVO "AQPROF.CNJ"

conjunto "Profundidade do Ambiente de Deposicao"

topspace PRIMEIRO

espaco PRIMEIRO

ques { Existem indicacoes de que a deposicao ocorreu
abaixo do nivel de compensacao da calcita ? }

expl { A precipitacao quimica dos carbonatos "e"
condicionada por fatores como pressao, temperatura e
concentracao de sais. Em profundidades superiores a
"4000-" "3000" m, para ambientes do Recente, nao
ocorre mais precipitacao de calcita que "e" mantida
dissolvida por efeito da pressao. }

resum { A deposicao ocorreu a profundidade superior a
"3000" m. }

sim 5

nao REGULAR

d CCD

prox REGULAR

subesp CCD

ques { Os sedimentos apresentam cimentos
predominantemente de silica, em detrimento a carbonatos? }

expl { A predominancia de sedimentacao quimica de silica
formando o cimento dos sedimentos, bem como ausencia
de carbonatos indica niveis de deposicao abaixo do
nivel de compensacao da calcita. }

resum { A deposicao pode ter ocorrido a profundidade
superior a "3000" m. }

sim 2

nao 0

d 0

prox RADIOL

subesp RADIOL

ques { Ocorrem radiolarios e foraminiferos arenaceos nos
sedimentos ? }

expl { Foraminiferos arenaceos e radiolarios possuem testa
silicosa e formam-se em condicoes onde nao ocorre
precipitacao de calcita. Podem indicar deposicao a
altas profundidades. }

resum { O conteudo fossil indica deposicao em condicoes de
alta profundidade. }

sim 2

nao 0

d 0

prox REGULAR

espaco REGULAR

ques { O deposito em questao mostra-se como camadas regulares, monotonas, preferencialmente plano-paralelas em grande escala ? }

expl { As condicoes da deposicao a grandes profundidades, onde nao operam correntes multidirecionais ou mais de um meio de transporte, determinam camadas regulares, extensas e continuas lateralmente e que se repetem monotonamente. }

sim 3

nao 0

d 0

prox TEMPEST

espaco TEMPEST

introd { A presenca de tempestitos e' crucial para definir profundidade, uma vez que o ambiente de agua profunda e' considerado a partir da base de acao das ondas de tempestades. }

ques { Ha' expressiva ocorrencia de tempestitos na unidade ? }

expl { Tempestitos sao depositos originados por ondas de tempestades que mobilizam grande volume de material. Sua caracteristica principal e' a estratificacao cruzada hummocky. }

flag { PRIMEIRO CCD RADIOL }

sim -5

nao 0

d HUMMOC

prox DIAMIC

subesp HUMMOC

ques { Voce encontrou estratificacao cruzada "'hummocky'" nos depositos ? }

expl { A estrutura hummocky e' a principal caracteristica de tempestitos. E' reconhecida por: camadas plano-convexas, intereseccoes de baixo angulo, comprimento de onda longo, baixa amplitude. Sugere-se consultar o livro "Facies Models", editado por R.G. Walker, e verificar se os parametros sedimentologicos conferem com os de seu caso. }

sim -2

nao DIAMIC

d DIAMIC

prox HUMGRAN

```

subesp HUMGRAN
ques { As camadas possuem granodecrescencia ascendente e
      base plana com marcas de sola ? }
expl { As ondas de tempestades, responsaveis pela
      acumulacao de tempestitos, constituem eventos
      episodicos que depositam sobre o substrato argiloso.
      Desta forma, o contato inferior dos depositos e'
      abrupto e com marcas de sola.      }
      sim -1
      nao  0
      d    0
prox  EXPRES

```

```

subesp EXPRES
ques { As feicoes que caracterizam tempestitos ocorrem de
      modo abundante ? }
expl { Ambiente de aguas profundas situa-se abaixo do
      nivel de acao de ondas de tempestade. A presenca
      expressiva de tempestitos indica deposicao em niveis
      d'agua mais rasos, embora seja admissivel a
      ocorrencia esporadica de uma camada com estrutura
      hummocky numa sequencia de turbiditos (e'''' o caso de
      turbiditos do Canion de Fazenda Cedro. }
Flag { PRIMEIRO CCD RADIOL }
      sim -3
      nao  0
      d -1
prox  DIAMIC

```

```

espaco DIAMIC
ques { Voce identificou a presenca de diamictitos na area?
      }
expl { Diamictitos sao conglomerados desorganizados, sem
      estrutura interna, originados por correntes do tipo
      "'debris-flow' " . }
resum { Ocorre uma quebra de relevo na regioa,
      possivelmente o talude. }
      sim  1
      nao  IDADE
      d    IDADE
prox  DIAFOS

```

espaco DIAFOS

```

ques { Os diamictitos contem fosseis identificaveis ? }
expl { Fosseis em diamictitos sao importantes indicativos
do ambiente onde originaram-se os sedimentos, uma vez
que a deposicao resulta de um deslizamento episodico.
}
sim DIANER
nao IDADE
d DIANER

```

espaco DIANER

```

ques { Voce reconheceu fosseis de ambiente neritico entre
os especimes da litologia ? }
expl { Os diamictitos implicam na existencia de talude
para que ocorra um fluxo gravitacional tipo "debris-
flow". A presenca de fosseis de agua rasa indica que
eles foram transportados daquele ambiente para aguas
profundas onde o material se depositou. Segundo
Daniel Stanley seria a 'unica facies diagnostica de
talude, caso contenha esses fosseis neriticos
incorporados 'a massa argilosa. }
resum {Presenca de fosseis neriticos em diamictitos
indicando transporte de material de 'aguas rasas e
deposicao em agua profunda. }
flag { TEMPEST EXPRES }
sim 4
nao 0
d 0
prox IDADE

```

espaco IDADE

```

introd { A deposicao de sedimentos em aguas profundas
guarda diferentes registros segundo o periodo
geologico em que ocorreu a sedimentacao. A idade das
rochas em questao e' um importante dado para
determinar profundidade. }
ques { Voce pode determinar a idade provavel do pacote
sedimentar ? }
expl { Ha' dados para localizar a deposicao em um periodo
geologico (Fanerozoico, Paleozoico , Mesozoico). }
sim ORDOV
nao FOSSEIS
d ORDOV

```

```

espaco ORDOV
ques { As rochas em questao sao mais antigas do que o
      Ordoviciano? }
expl { A deposicao ocorreu a mais de 500 milhoes de anos.
      }
resum { O pacote sedimentar e' de idade anterior ao
      Ordoviciano .}
      sim ONDAS
      nao JURASS
      d JURASS

```

```

espaco JURASS
ques { A deposicao ocorreu entre o Ordoviciano e o
      Jurassico? }
expl { A deposicao do pacote sedimentar se deu entre 140 e
      500 milhoes de anos. }
resum { O pacote sedimentar e' de idade anterior ao final
      do Jurassico.}
flag { ORDOV }
      sim ICNOFOS
      nao FOSSEIS
      d FOSSEIS

```

```

espaco ICNOFOS
introd { Fosseis, quando presentes na litologia, sao dados
        diagnosticos para determinar o ambiente de deposicao
        dos sedimentos. }
ques { Voce quer analisar as especies fosseis da unidade
      em estudo? }
expl { Fosseis sao importantes demonstrativos da
      profundidade em que ocorreu a deposicao dos
      sedimentos . }
      sim TRACE
      nao RAIZES
      d RAIZES

```

```

espaco TRACE
introd { Nas litologia de idade Paleozoicas, os melhores
        indicadores biogenicos sao os icnofosseis ou traco
        fosseis. }
ques { Voce identificou icnofosseis na unidade ? }
expl { Icnofosseis ou traco fosseis ("trace fossils") sao
      registros da passagem de organismos nos sedimentos,
      sem que haja necessariamente preservacao dos mesmos.
      Correspondem a rastros, tubos e marcas. }
      sim NEREI
      nao ONDAS
      d ONDAS

```

espaco NEREI

ques { Voce reconheceu tracos fosseis de NEREITES na
unidade ? }

expl { A presenca de tracos fosseis de NEREITES definem
uma icnofacies em ambiente marinho profundo e indicam
zonas abissais. }

resum { A identificacao de icnofosseis da Facies Nereites
indica profundidades abissais de deposicao. }

flag { TEMPEST EXPRES }

sim 4
nao 0
d 0
prox ZOOPHY

espaco ZOOPHY

ques { Ocorrem tracos fosseis de ZOOPHYCOS, CHONDRITES ou
PLANOLITES nas litologias ? }

expl { Estes registros fosseis indicam deposicao em fundo
marinho em zonas batiais. }

sim 3
nao 0
d 0
prox TALASS

espaco TALASS

introd { ZOOPHYCOS, PLANOLITES e CHONDRITES embora
caracteristicos de agua profunda, podem ocorrer em
depositos de plataforma. Outros icnofosseis
associados indicam essa situacao. }

ques { Voce reconheceu registros de TALASSINOIDES nos
sedimentos ? }

expl { TALASSINOIDES sao tracos fosseis tipicos de zona de
plataforma. }

sim -6
nao 0
d 0
prox DINOS

espaco DINOS

introd { Vertebrados continentais sao presenca importante nas formacoes do Mesozoico para caracterizar o ambiente. }

ques { Voce reconheceu registros da passagem de dinossauros ou outros repteis nas rochas em questao ? }

expl { Em algumas litologias muito finas, semelhantes aquelas de agua profunda, a presenca de pegadas ou restos fosseis pode identificar o tipo de deposito. }

flag { PRIMEIRO CCD RADIOL TEMPEST EXPRES NEREI }

sim -4

nao 0

d 0

prox RAIZES

espaco FOSSEIS

introd { Fosseis, quando presentes na litologia, sao dados diagnosticos para determinar o ambiente de deposicao dos sedimentos. }

ques { Voce quer analisar as especies fosseis da unidade em estudo? }

expl { Fosseis sao importantes demonstrativos da profundidade em que ocorreu a deposicao dos sedimentos . }

sim FORAD

nao RAIZES

d RAIZES

espaco FORAD

introd { A presenca de microfosseis plantonicos e bentonicos fornece informacao importante para a determinacao da profundidade de deposicao. }

ques { Voce possui informacoes sobre a presenca de foraminiferos ou radiolarios nas litologias em estudo ? }

expl { Foraminiferos sao protozoarios, usualmente de origem marinha. Radiolarios sao caracteristicamente organismos de oceano aberto compostos por silica. }

sim MISTURA

nao RAIZES

d PLANBENT

espaco MISTURA

ques { Voce reconheceu fosseis neriticos associados a outros de agua profunda em uma mesma camada ? }

expl { Regioes de agua profunda muitas vezes recebem material transportado de outras areas de menor profundidade, o qual e' retrabalhado e depositado juntamente com o material local. }

resum { A presenca de fosseis neriticos e pelagicos retrabalhados pode indicar deposicao por correntes de densidade. }

sim 3

nao 0

d RETRAB

prox PLANBENT

subesp RETRAB

ques { Voce observou na litologia a presenca de uma associacao contendo foraminiferos calcareos e arenaceos aglutinantes ? }

expl { Essa associacao demonstra a presenca de material retrabalhado compondo a unidade. }

resum { A presenca de fosseis neriticos e pelagicos retrabalhados pode indicar deposicao por correntes de densidade. }

sim 3

nao 0

d 0

prox PLANBENT

espaco PLANBENT

ques { A proporcao plantonico/bentonico de organismos e' alta, ou seja existe uma dominancia de organismos que vivem na zona fótica junto a superficie, em relacao aqueles que vivem junto ao fundo ? }

expl { Uma alta razao plantonico/bentonico e' esperada em regioes distantes do continente, onde ha' pouca turbidez pelo aporte de sedimentos, permitindo o desenvolvimento das especies. Por outro lado, sedimentos de grandes profundidades nao preservam fosseis de organismos plantonicos que sao dissolvidos durante a precipitacao. }

resum { Predominam organismos plantonicos sobre os bentonicos na litologia. }

sim DOMINIO

nao BENTON

d MEDIA

espaco DOMINIO

ques { Os organismos plantonicos chegam a constituir mais de "98%" dos especimes presentes na amostra ? }

expl { A quantidade de organismos plantonicos que continuamente precipitam sobre o fundo marinho pode formar as chamadas 'vasas', compostas de foraminiferos, radiolarios e cocolitos, desde que nao haja um aporte terrigeno muito expressivo. }

resum { A deposicao se deu em ambiente marinho profundo, porem acima do nivel de compensacao da calcita, permitindo a preservacao de vasas calciferas. }

flag { PRIMEIRO CCD }

sim 3

nao 0

d 0

prox ONDAS

espaco BENTON

ques { Nos organismos presentes, a proporcao plantonico/bentonico e' baixa ? }

expl { Uma baixa proporcao de plantonicos em relacao aos bentonicos e' esperada nas zonas proximas ao continente, onde a turbidez da agua nao permite desenvolvimento de organismos plantonicos, e em zonas abaixo do nivel de compensacao da calcita, porque esses organismos nao se preservam durante a deposicao. }

sim AGLUT

nao MEDIA

d MEDIA

espaco MEDIA

ques { A quantidade de organismos plantonicos e bentonicos e' proporcional na amostra ? }

expl { Um bom desenvolvimento de organismos plantonicos e bentonicos e' esperado nas zonas de plataforma. Nesta regioa, embora possam ocorrer correntes de turbidez, seus depositos dificilmente sao preservados devido a acao das ondas de tempestade. }

sim -2

nao 0

d 0

prox ONDAS

espaco AGLUT

ques { Voce reconheceu foraminiferos bentonicos
aglutinantes na unidade em estudo ? }

expl { Sao organismos de testa silicosa formada atraves da
aglutinacao de graos de areia. Sao comuns em grandes
profundidades de lamina d'agua. }

sim METAZ

nao PORCEL

d METAZ

espaco METAZ

ques { Entre as especies, ocorrem metazoarios ou algas? }

expl { Os metazoarios ou algas verdes e vermelhas ocorrem
dominantemente nas zonas de plataforma rasa. }

sim -5

nao 0

d 0

prox RAIZES

espaco PORCEL

ques { Os foraminiferos mostram dominancia de organismos
benticos porcelanosos, como os Miliolideos ? }

expl { Foraminiferos porcelanosos posuem testa formada por
minusculos cristais de calcita (micrita). Identificam
zonas de deposicao de plataforma. }

sim -5

nao 0

d 0

prox ALINOS

espaco ALINOS

ques { Os organismos bentonicos sao principalmente
calcareaalinos ? }

expl { Foraminiferos calcareaalinos possuem testa calcarea
formada por cristais bem desenvolvidos de carbonato.
Indicam deposicao em altas profundidades, porem acima
do nivel de compensacao da calcita. }

resum { A deposicao se deu em zonas profundas, porem acima
do nivel de compensacao da calcita. }

flag { PRIMEIRO CCD }

sim 4

nao 0

d 0

prox PATOS

espaco PATOS

introd { Depositos com idade mais recente do que o Cretaceo
podem conter registros de formas evoluidas como
vertebrados que indicam seu carater continental. }

ques { Voce reconheceu, nas litologias mais finas do
pacote sedimentar, pegadas ou outros registros da
passagem de palmipedes ? }

expl { Inunditos de idade recente muitas vezes sao
diferenciados dos depositos de agua profunda devido a
presenca de registros de organismos terrestres. }

flag { PRIMEIRO CCD RADIOL FOSPROF }

sim -4

nao 0

d 0

prox CORAIS

espaco CORAIS

ques { Voce verificou a presenca de corais hermatipicos e
algas vermelhas autoctones nas rochas em questao ? }

expl { Corais hermatipicos sao organismos que vivem em
simbiose com outros organismos que fazem
fotossintese, como por exemplo algas vermelhas,
portanto vivendo em aguas rasas dentro da zona
fotica. Desde que nao tenham sofrido transporte,
estes organismos sao indicadores de profundidade. }

flag { PRIMEIRO CCD RADIOL FOSPROF }

sim -4

nao 0

d 0

prox RAIZES

espaco RAIZES

introd { Certos depositos continentais assumem aspecto
muito semelhante 'aqueles de agua profunda. E' o
caso dos inunditos, associados a deltas fluviais.
Estes depositos, no entando, registram formas de
vida relacionadas ao ambiente. }

ques { Voce reconheceu restos de raizes de plantas nas
porcoes mais finas do deposito ? }

expl { Raizes de plantas, por se preservarem in situ em
litologias do tipo siltitos ou folhelhos, identificam
o carater continental destes sedimentos. }

flag { PRIMEIRO CCD RADIOL FOSPROF }

sim -4

nao 1

d -1

prox ONDAS

espaco ONDAS

introd { Alguns estruturas sao muito tipicas para deposicao em ambientes de menor profundidade de lamina d'agua. As proximas perguntas identificam feicoes que NAO devem aparecer em ambiente marinho profundo. }

ques { Voce reconheceu estruturas do tipo marcas de onda nas litologias em questao ? }

expl { Estruturas tracionais como marcas de onda e dunas sao caracteristicas de regime de fluxo inferior em zonas de baixa profundidade de agua. }

flag { PRIMEIRO CCD RADIOL FOSPROF }

sim -2

nao 2

d 0

prox CHUVA

espaco CHUVA

ques { Ocorrem estruturas do tipo pingos de chuva nas fracoes mais finas da unidade? }

expl { "'Pingos de chuva'" sao pequenas marcas circulares no topo das camadas siltico argilosas, indicando que estas estiveram em exposicao sub-aerea em algum periodo. }

flag { PRIMEIRO CCD RADIOL FOSPROF }

sim -3

nao 1

d 0

prox GRETAS

espaco GRETAS

ques { Voce identificou estruturas do tipo fendas de ressecamento nas litologias da unidade ? }

expl { Fendas de ressecamento ou gretas de contracao formam-se quando os sedimentos saturados em agua sao expostos subaereamente. A superficie parte-se em formas poligonais. }

flag { PRIMEIRO CCD RADIOL FOSPROF }

sim -2

nao 2

d 0

prox CRUZADA

espaco CRUZADA

```

ques { Estratificacoes cruzadas sao comuns no pacote
      sedimentar ? }
expl { Estratificacoes cruzadas formam-se em sedimentos
      depositados sob regime de fluxo bidirecional comum em
      zonas mais rasas. }
flag { PRIMEIRO CCD RADIOL FOSPROF }
      sim -3
      nao 1
      d 0
      prox ESTROM

```

espaco ESTROM

```

ques { Voce identificou estromatolitos autoctones na
      sequencia ? }
expl { Estromatolitos sao estruturas algais geradas pelo
      trapeamento ou precipitacao de calcita a partir de
      algas cianoficeas, que sao encontradas em ambiente
      marinho ou lacustre raso. }
flag { PRIMEIRO CCD RADIOL FOSPROF }
      sim -3
      nao 1
      d 0
      prox ULTIMO

```

espaco ULTIMO

```

max 14
min 7
conclpos { As caracteristicas do deposito indicam que a
          deposicao se deu em ambiente de aguas profundas,
          ou seja, abaixo do nivel das ondas de tempestade
          ou de retrabalhamento efetivo das ondas normais.
          Uma vez que se acumulem depositos turbiditicos
          neste local, as estruturas de deposicao podem ser
          preservadas. }

conclneg { Os organismos fosseis e litologia indicam que a
          deposicao se deu em profundidades acima da base de
          acao de ondas de tempestade. A unidade em questao
          NAO corresponde a depositos turbiditicos. }

```

FIM

ARQUIVO "TALUDE.CNJ"

conjunto "Associacao de Facies de TALUDE"

topspace PRIMEIRO

espaco PRIMEIRO

```
introd { As perguntas que se seguem buscam definir se o
        deposito de agua profunda em questao corresponde a
        TURBIDITOS DE TALUDE. }
ques   { Voce quer um resumo das caracteristicas de
        associacao de facies de talude ?? }
expl   { Voce pode realizar esta analise apenas para testar
        seus dados. }
        sim EXPLICA
        ao PELITOS
        d   EXPLICA
```

espaco EXPLICA

```
introd { A associacao de facies de talude "e'" constituida
        fundamentalmente de argila e silte, formando camadas
        irregulares a partir de uma disposicao original
        plano-paralela. Facies caoticas de deslizamento sao
        comuns. }
ques   { Existe possibilidade do deposito em questao
        corresponder a uma associacao de talude ? }
expl   { Voce pode passar diretamente para outras
        associacoes de facies. }
        sim PELITOS
        nao -3
        d PELITOS
        prox ULTIMO
```

espaco PELITOS

```
ques   { A unidade em estudo mostrou abundancia de
        sedimentos peliticos da Facies G ? }
expl   { A facies G "e'" reconhecida pela presenca de
        folhelhos pelagicos ou hemipelagicos compostos de
        material terrigeno pelitico, normalmente com
        coloracao cinza, oliva ou azulada, contendo silte,
        areia fina, mica e carbonato . }
        sim 3
        nao -2
        d 0
        prox D3
```

espaco D3

```

ques { Ocorrem sedimentos da Facies D3 na unidade ? }
expl { A Facies D3 corresponde aos intervalos Td e Te de
      Bouma, consistindo de delgadas camadas de silte e
      argila granoclassificadas, depositadas por "'nuvens
      turbidas' ". }
      sim 2
      nao -1
      d 0
      prox CICATR

```

espaco CICATR

```

ques { Voce identificou a ocorrencia de cicatrizes de
      escorregamento nas litologias da unidade ? }
expl { Cicatrizes de escorregamento ou "'hummochy
      surface'"sao depressoes em forma de pa' resultante do
      escorregamento de sedimentos nas bordas do talude. }
      sim 4
      nao 0
      d 0
      prox MULT

```

espaco MULT

```

ques { "E" possivel reconhecer estruturas de
      discordancias multiplas no acamadamento dos
      sedimentos finos ?}
expl { Discordancias multiplas sao causadas por sucessivos
      escorregamentos que erosionam as camadas anteriores
      e preenchem as cavidades formadas. }
      sim 2
      nao 0
      d 0
      prox AREN

```

espaco AREN

```

introd { A Associacao de Facies de Talude e' fortemente
        influenciada pelo relevo particular associado "'a"
        area , o qual ocasiona a formacao de canais de
        alimentacao de sedimentos mais grosseiros vindos da
        plataforma para o interior da bacia. As proximas
        perguntas buscam caracterizar estes canais. }
ques { Voce reconheceu corpos de arenitos ou conglomerados
      da facies A na unidade ? }
expl { A facies A "e" caracterizada por arenitos medios
      e grosseiros, com seixos esparsos, a conglomerados,
      em camadas irregulares de 1 a 10 metros, com
      estruturas de corte e preenchimento ("acanalamento
      multiplo)", gradacoes normais e inversas. }
      sim 2
      nao CAOT
      d CAOT
      prox GEOAREN

```

espaco GEOAREN

```

ques { A geometria dos arenitos e conglomerados tende a
      ser lenticular e alongada ? }
expl { Corpos de areia lenticulares e alongados
      identificam preenchimento de canais. }
resum {Ocorrem canais de sedimentos grosseiros na unidade.}
      sim 1
      nao 0
      d 0
      prox FAFG

```

espaco FAFG

```

ques { Os corpos da Facies A sao envolvidos pelos sedimentos
      da facies G ? }
expl { Os corpos de arenitos e conglomerados,
      individualmente ou agrupados, sao confinados por
      pelitos, tanto em cima e embaixo como lateralmente.
      }
      sim 2
      nao 0
      d 0
      prox DIAMIC

```

espaco DIAMIC

ques { Voce identificou a presenca de diamictitos na area?
}

expl { Diamictitos sao conglomerados desorganizados, sem
estrutura interna, originados por correntes do tipo
"debris-flow". Correspondem a facies A2 e indicam a
presenca de uma quebra de relevo como o talude. }

sim 4

nao 0

d 0

prox CREVAS

espaco CREVAS

ques { Voce reconheceu camadas delgadas de sedimentos
finos no interior dos corpos de clasticos da facies A
? }

expl { Arenitos e pelitos das facies D e E associados aos
sedimentos da facies A indicam processos localizados
relacionados ao preenchimento de canais, como
extravazamento de pequenas correntes turbiditicas
"(crevassing)" ou fluxo de graos. }

resum { Ocorrem estruturas de extravazamento de canais na
unidade. }

sim 1

nao 0

d 0

prox CAOT

espaco CAOT

ques { Voce reconheceu niveis caoticos da facies F
associados "a" sequencia ? }

expl { Facies F identifica depositos caoticos formados de
blocos ("olistolitos)" desmoronados geralmente a
partir da quebra de plataforma. Pode gradar "a"
Facies A2 ("diamictitos)". }

resum { Ocorrem feicoes de desmoronamento na unidade. }

sim 3

nao -1

d 0

prox SEQVERT

espaco SEQVERT

ques { Ate o ponto onde pode ser verificado, a sequencia
pode ser descrita como "thinning and finning-
upward" ? }

expl { No conjunto, o deposito tende a afinar as camadas e
diminuir o tamanho de grao em direcao ao topo da
sequencia. }

sim 2

nao -1

d 0

prox ULTIMO

espaco ULTIMO

max 25

min 13

conclpos { A unidade em questao corresponde a turbiditos da
associacao de facies de TALUDE, ou seja, a area de
sedimentacao entre a plataforma e o sope' do
talude. Predominam no conjunto sedimentos finos de
fundo marinho, mas devido a situacao proximal da
area de sedimentacao, ocorre grande aporte de
material da plataforma na forma de preenchimento
de canais. O relevo instavel favorece depositos
caoticos resultantes de deslizamentos ou
desmoronamento . }

conclneg { Os dados NAO correspondem a uma associacao de
facies turbiditicas de TALUDE. }

FIM

ARQUIVO "LEQINT.CNJ"

conjunto "Associacao de Facies de LEQUE INTERNO"

topspace PRIMEIRO

espaco PRIMEIRO

```
ques { Voce quer verificar as caracteristicas das facies
      de Sistema de Distribuicao ou Leque Interno ? }
expl { Posso fornecer um resumo das caracteristicas da
      Associacao de Facies de Leque Interno. }
      sim EXPLICA
      nao CANAL
      d EXPLICA
```

espaco EXPLICA

```
introd { O sistema de distribuicao do leque submarino
        corresponde ao conjunto de canais de alimentacao da
        parte superior do leque submarino, aos depositos
        entre estes canais e as acumulacoes em suas porcoes
        terminais. A litologia predominante compoe-se de
        sedimentos grosseiros, com granodecrescencia
        ascendente preenchendo canais, sedimentos finos de
        intercanal e com estruturas de tracao nas barras de
        embocadura. }
ques { O deposito em questao pode ser de leque interno ?
      }
expl { Voce pode passar diretamente para outras
      associacoes de facies.}
      sim CANAL
      nao -3
      d CANAL
      prox ULTIMO
```

espaco CANAL

introd { Vamos tentar identificar características de facies de preenchimento de canal. Dentro de um canal principal os depósitos podem ser separados em dois tipos : os de EIXO DE CANAL e os de MARGEM DE CANAL. As perguntas que se seguem buscam reconhecer depósitos de eixo de canal. }

ques { Voce reconheceu sedimentos da Facies A1 no depósito ? }

expl { Facies A1 corresponde a conglomerados organizados, arenitos seixosos a medio-grosseiros, resultantes da amalgamação de depósitos residuais ("lag deposit") de correntes de turbidez. }

resum { Ocorrem conglomerados preenchendo os eixos de canais. }

sim 5
 nao DIAMIC
 d 0
 prox DECRES

espaco DIAMIC

ques { Voce reconheceu diamictitos na unidade ? }

expl { Diamictitos são conglomerados desorganizados, com matriz argilosa, sem estrutura interna, resultante de deposição por fluxo de detritos ("debris flow"). Correspondem a Facies A2 de MUTTI. }

sim AMALGA
 nao -2
 d 0
 prox ULTIMO

espaco AMALGA

introd { Atenção, certos conglomerados formados por clastos de argila ao se compactarem adquirem um aspecto semelhante a diamictitos, embora sejam da Facies A1. }

ques { Voce "esta" certo de que a litologia em questão corresponde a diamictitos ou Facies A2 ? }

expl { Existem características que permitem identificar conglomerados amalgamados. }

sim DECRES
 nao BALLS
 d BALLS

subesp BALLS

introd { Conglomerados da Facies A1 formados por clastos de argila, ao serem amalgamados, podem assumir aspecto semelhante a diamictitos devido a formacao de uma pseudo-matriz argilosa. A presenca de seixos de argila que preservam um revestimento endurecido ao rolarem sobre o fundo, as "'armored mud balls'", sao indicativas de conglomerados deste tipo. }

ques { Voce reconheceu "'armored mud balls'" nos diamictitos ? }

expl { Estes seixos sao reconhecidos por uma crosta endurecida em torno do clasto, ou por pedacos desta crosta imersos na matriz. }

resum { Os conglomerados de eixo de canal compoem-se de seixos argilosos amalgamados. }

sim 5

nao 0

d 0

prox DECRES

espaco DECRES

ques { As camadas de arenitos e conglomerados mostram granodecrescencia ascendente ? }

expl { Depositos de preenchimento de canal caracterizam-se por facies grosseiras que se acumulam na fase ativa do canal. Apos o seu abandono, as facies finas de transbordamento de um canal vizinho recobrem os depositos anteriores. }

sim 3

nao 0

d 0

prox CORTE

espaco CORTE

ques { Voce reconheceu estruturas de corte e preenchimento nos depositos ? }

expl { Estruturas deste tipo indicam que as camadas foram cortadas e parcialmente erodidas em um evento e as depressoes resultantes foram preenchidas no outro. }

resum { Estruturas de corte e preenchimento identificam processos de formacao de canais. }

sim 5

nao 0

d 0

prox WEDLEN

espaco WEDLEN

ques { Ocorrem estruturas do tipo "'wedging'" e
 "'lensing'" nos arenitos e conglomerados ? }
 expl { Os depositos residuais de correntes de turbidez
 sao de pequena expressao, depositando-se na forma de
 cunhas e lentes no interior do canal. }
 sim 1
 nao 0
 d 0
 prox BYPASS

espaco BYPASS

ques { Voce identificou Facies B2 e E nos depositos ? }
 expl { Arenitos medios e grosseiros com estratificacao
 cruzada da Facies B2 e E em eixo de canal indicam
 processos de tracao por correntes de turbidez
 transpassantes, retrabalhando depositos residuais. }
 sim 1
 nao 0
 d 0
 prox FACIEC

espaco FACIEC

ques { Ocorrem sedimentos da Facies C na unidade ? }
 expl { Facies C corresponde a uma ou mais camadas
 apresentando a sequencia de Bouma, completa (Ta-e)
 ou incompleta (Tb-c, Tc-e, Ta). }
 graf BOUMA.GRF
 sim RETROGRAD
 nao MARGEM
 d MARGEM

espaco RETROGRAD

introd { A presenca de Facies C , normalmente
 caracteristica do sistema de acumulacao, quando
 aparece nos depositos de eixo de canal podem indicar
 retrogradacao do sistema ou uma obstrucao da boca do
 canal, causando "'back-filling"' : }
 ques {Os depositos da Facies C ocorrem em quantidades
 expressivas ?}
 expl { Quando em quantidades expressivas, a Facies C
 indica retrogradacao da deposicao por efeito,
 possivelmente, de uma elevacao do nivel do mar. }
 resum { Quantidades expressivas da Facies C indicam uma
 elevacao do nivel do mar. }
 sim 1
 nao BFILL
 d 0
 prox MARGEM

espaco BFILL

introd { Depositos pouco espessos e de ocorrencia localizada da Facies C indicam uma obstrucao parcial ou completa da boca do canal, fazendo com que as correntes de turbidez depositem sua carga grosseira dentro do canal por retrodeposicao ou "'back-filling'". }

ques { A facies C constitui depositos pouco espessos e localizados na unidade ? }

expl { Por ser uma ocorrencia de curta duracao, a obstrucao do canal nao gera depositos de grandes dimensoes. }

resum { A presenca de Facies C identifica retrogradacao do sistema por obtrucao de canais }

sim 1

nao 0

d 0

prox MARGEM

espaco MARGEM

introd { Dentro do canal principal, os depositos podem ser separados em dois tipos: depositos de EIXO e de MARGEM DE CANAL. Depositos de MARGEM DE CANAL sao formados pela continuacao dos depositos de eixo em direcao "'as" paredes do canal ou DIQUE MARGINAL. Suas caracteristicas serao questionadas a seguir. }

ques { Voce identificou camadas finas e regulares de areia fina e silte da Facies D1 nos depositos ? }

expl { Depositos de margem de canal sao gerados a partir de suspensoes relativamente diluidas derivadas de fluxos densos no eixo do canal. }

resum { Os depositos de margem de canal compoe-se de intercalacoes de arenito e siltito. }

sim 2

nao INTERC

d INTERC

prox CLIMB

espaco CLIMB

ques { Voce reconheceu "'climbing bed'" nas camadas ? }

expl { As estruturas de "'climbing beds'" formam-se da superposicao de sucessivas camadas com "'ripples'" em diferenca de fase, intercalando-se entre elas camadas de "'ripples'" sinusoidais. Ocorrem nos depositos de margem de canal. }

sim 2

nao 0

d 0

prox DIQUE

espaco DIQUE

introd { O DIQUE MARGINAL resulta de acrescáo vertical de argila nas margens do canal. O material que o compoe e' fundamentalmente argiloso, praticamente a areia e' ausente. }

ques { Ocorrem depositos espessos de argila associados lateralmente as litologias do eixo de canal ? }

resum { Depositos de argila compoem diques marginais nas laterais dos canais. }

sim 1

nao 0

d 0

espaco CREVASS

introd { Devido a eventuais obstaculos na boca do canal, eventualmente o fluxo e' desviado lateralmente rompendo o dique marginal e formando acumulacoes de sedimentos grosseiros na regioáo intercanal. Sao os depositos de 'crevasse'. }

ques { Voce identificou canais menores cortando as camadas da Facies D1 ?? }

expl { Estas feicoes sao interpretadas como rompimento das margens do canal ("'crevassing'") atraves de correntes muito fortes originadas nos estagios de transbordamento. Posteriormente, estes canais sao preenchidos por facies de margem em uma fase posterior. }

sim 3

nao 0

d 0

prox INTERC

espaco INTERC

introd { Entre os depositos de canal do sistema de distribuicao do leque submarino ocorrem acumulacoes da facies de INTERCANAL que resultam do transbordamento do material fino durante a passagem da corrente de turbidez. }

ques { Voce reconheceu sedimentos das Facies D1 e D2 na sequencia ?? }

expl { Ocorrem camadas de arenito, siltito e folhelho, com os intervalos Tb-e e Tc-e de Bouma. }

resum { Ocorrem depositos de intercanal compostos dos intervalos Tb-e e Tc-e de Bouma. }

sim 1

nao Tb-e

d Tb-e

prox MIRIADES

espaco MIRIADES

ques { As ocorrencias de arenito, siltito e folhelho se
dao como intercalacoes complexas de inumeras
camadas de pequeno porte ?}

expl { Cada delgada sequencia das Facies D1 e D2
corresponde a um evento de corrente de turbidez que
transbordou do canal. }

sim 1
nao 0
d 0
prox ESPESS

espaco ESPESS

ques { O pacote de sedimentos da Facies D atinge, no
maximo, alguns metros de espessura ? }

expl { A forma de deposicao, por transbordamento das
correntes do canal, nao permite a acumulacao de
grande quantidade de sedimentos no intercanal. }

sim 1
nao 0
d 0
prox CONTATO

espaco CONTATO

ques { Os contatos entre a facies de intercanal e os
demais sedimentos que a limitam sao transicionais ?
}

expl { Normalmente a transicao "e" feita por aumento ou
decrescimo na espessura das camadas de arenito;
contatos abruptos sao raros. }

sim 1
nao 0
d 0
prox GRADACAO

espaco GRADACAO

ques { O pacote que contem a facies de intercanal grada
lateralmente a folhelhos ?}

expl { Ha' uma transicao entre a regio intercanal e o
chamado open fan, este ultimo argiloso.}

sim 1
nao 0
d 0
prox Tb-e

espaco Tb-e
 ques { Ocorrem camadas da Facies C, sob forma de canais amplos e rasos? }
 expl { Camadas desta forma, "'as" vezes, com numerosos truncamentos basais sao conhecidas como depositos resultantes do rompimento do canal ('crevasse'). }
 sim 2
 nao BARRA
 d BARRA
 prox DIREC

espaco DIREC
 ques { Voce pode estimar a direcao de transporte das camadas da Facies C ? }
 expl { Depositos de "'crevasse'" tem suas camadas acumuladas por canais de rompimento com direcoes perpendiculares aos canais principais. }
 sim ANGULO
 nao ROMPIN
 d ROMPIN

espaco ANGULO
 ques { A direcao de transporte nas camadas da Facies C faz angulo apreciavel com a direcao geral de transporte do sistema ? }
 expl { Como os lobos de crevasse resultam do rompimento do dique marginal a direcao das camadas tende a ser perpendicular a dos canais. }
 sim 1
 nao 0
 d 0
 ROMPIM

espaco BARRA
 introd { Ate' o momento, examinamos as caracteristicas dos depositos de canais e intercanais que, associados aos depositos de barra de embocadura, compoe o Leque Interno de um sistema turbiditico. A facies de BARRA DE EMBOCADURA sao as acumulacoes resultantes do salto hidraulico na boca dos canais ('hydraulic jump'). Possuem natureza essencialmente tracional. }
 ques { Voce reconheceu Facies E no deposito ? }
 expl { A Facies E consiste de intercalacoes de arenitos finos a medios com argila apresentando estratificacao lenticular ('linsen') e ondular ('wavy'), muito semelhantes as que ocorrem nas planicies de mare. }
 sim 1
 nao ULTIMO
 d ULTIMO
 prox ARCRUZ

espaco ARCRUZ

ques { Voce reconheceu arenitos medios a grosseiros da
Facies B2 associados a Facies E ? }

expl { A Facies B2 consiste de arenitos grosseiros, com
estratificacao cruzada de pequeno a medio porte,
muito semelhante a de origem fluvial. Sao estruturas
de tracao resultantes do salto hidraulico. }

resum { Na boca dos canais ocorrem depositos de barra de
embocadura. }

sim 5

nao 0

d 0

prox ULTIMO

espaco ULTIMO

max 29

min 14

conclpos { O deposito em questao contem turbiditos de LEQUE
SUBMARINO, porcao do SISTEMA DE DISTRIBUICAO ou LEQUE
INTERNO. Corresponde a parte mais proximal do leque
submarino que recebe grande aporte de sedimentacao
grosseira e e' dominada por canais. }

conclneg { As caracteristicas do deposito em questao NAO
correspondem 'aquelas do LEQUE INTERNO. }

FIM

ARQUIVO "LEQEXT.CNJ"

conjunto "Associacao de Facies de LEQUE EXTERNO"

topspace PRIMEIRO

espaco PRIMEIRO

introd { As proximas perguntas referem-se "'as"
caracteristicas de depositos turbiditicos de LEQUE
SUBMARINO, porcao do SISTEMA DE ACUMULACAO ou LEQUE
EXTERNO. }

ques { Voce quer verificar se as caracteristicas das
facies do SISTEMA DE ACUMULACAO ou LEQUE EXTERNO ?
}

expl { Posso fornecer a voce um resumo destas
caracteristicas. }
sim EXPLICA
nao FORMA
d EXPLICA

espaco EXPLICA

introd { O SISTEMA DE ACUMULACAO ou LEQUE EXTERNO
constitui-se no local de maxima acumulacao de areia
numa bacia turbiditica. Os sedimentos mais comuns
desta porcao sao arenitos em camadas espessas e
macicas e intercalacoes finas de arenitos e
folhelhos em camadas regulares. Geralmente podem ser
referidos "'a" Sequencia de Bouma. }

ques { O depositos em questao pode ser de leque externo?
}

expl { O sistema de acumulacao "e'" a porcao mais
externa do leque submarino. }
sim FORMA
nao -1
d FORMA
prox ULTIMO

espaco FORMA

ques { A forma dos depositos corresponde a lentes de
topo convexo? }

expl { A forma lobada dos depositos e' caracterizada por
camadas de base plana e topo convexo. }

resum { Os depositos tem forma lobada. }
sim 1
nao 0
d 0
prox GRANOC

espaco GRANOC
 ques { As camadas mostram granocrescencia e espessamento ascendente
 expl { O tamanho de grao e espessura das camadas aumentam
 para cima no pacote sedimentar. }
 sim 1
 nao 0
 d 0
 prox CAMADAS

espaco CAMADAS
 ques { As camadas apresentam acentuada regularidade na
 forma e extensao ? }
 expl { Alguns leques submarinos, como os dos Apeninos e
 Pirineus, apresentam lobos de grande extensao "(>50
 km)" onde a camada se mantem com a mesma espessura
 por grande extensao. }
 sim 2
 nao 0
 d 0
 prox CICLICA

espaco CICLICA
 ques { O conjunto de camadas apresenta padroes repetitivos
 (ciclicos) ? }
 expl { Um estrato ou um conjunto de estratos repete-se
 inumeras vezes ao longo do pacote. }
 sim 1
 nao 0
 d 0
 prox FACIES

espaco FACIES
 ques { Voce reconheceu sedimentos da Facies C e D na
 sequencia ? }
 expl { Facies C caracteriza-se pela Sequencia de Bouma:
 arenito gradacional a folhelho com marcas de sola.
 Facies D corresponde a Tb-e, ou seja, arenito
 laminado fino a folhelho. }
 sim 4
 nao CANAL
 d 0
 prox C1C2

espaco C1C2
 ques { Os sedimentos da Facies C1 e C2 predominam sobre
 aqueles da Facies D ? }
 expl { As Facies C1 e C2 determinam um carater mais
 proximal aos lobos. }
 resum { O deposito corresponde ao lobo proximal. }
 sim CANAL
 nao D1D2D3
 d D1D2D3

espaco D1D2D3
 ques { Os sedimentos da Facies D1, D2 ou D3 ocorrem com
 mais frequencia do que os da Facies C ? }
 expl { A predominancia da Facies D indica a porcao mais
 distal do leque externo, podendo corresponder ao
 lobo distal ou a franja. }
 resum { O deposito corresponde ao porcao mais distal do
 lobo submarino. }
 sim FRANJA
 nao MEDIA
 d FRANJA

espaco MEDIA
 introd { Uma distribuicao equitativa das facies C e D indica uma posi
 media dentro do lobo. }
 ques { As Facies C e D ocorrem de forma proporcional no
 pacote sedimentar ?? }
 expl { A Facies C predomina nas porcoes mais proximais do
 leque externo, enquanto a Facies D nas porcoes mais
 distais. }
 sim 1
 nao 0
 d 0
 prox CANAL

espaco CANAL
 ques { Voce reconheceu estruturas tipo canais nos
 depositos ? }
 expl { A presenca de canais indica uma deposicao em zona
 mais proximal do leque submarino, ou talvez
 corresponda a um deposito de leque interno. }
 sim -2
 nao ULTIMO
 d ULTIMO
 prox MENOR

espaco MENOR

ques { Os canais em questao sao ocorrencias esparsas e
de pequeno porte ? }

expl { Depositos do sistema de acumulacao podem
apresentar canais pequenos nos topos das sequencias,
especialmente no lobo proximalis. }

sim 1

nao -2

d -1

prox ULTIMO

espaco FRANJA

introd { Voce identificou uma porcao mais distal do lobo.
As proximas perguntas tentam identificar
caracteristicas de FRANJA DE LEQUE. }

ques { A Facies C e' muito pouco desenvolvida na unidade?
}

expl { A franja e' a porcao mais distal do leque, onde as
facies proximalis ocorrem com muito pouca expressao
em relacao ao lobo proximal ou distal. }

sim 1

nao 0

d 0

prox REGULAR

espaco REGULAR

ques { As camadas sao extremamente regulares e delgadas?
}

expl { As correntes de turbidez, ao atingirem a porcao
mais distal do leque, ja' perderam sua carga
grosseira, formando turbiditos delgados e regulares.
}

resum { A unidade corresponde a porcao de franja de
leque. }

sim 1

nao 0

d 0

prox ULTIMO

espaco ULTIMO

max 11

min 6

conclpos { A unidade em questao contem turbiditos da associacao de facies de LEQUE EXTERNO ou SISTEMA DE ACUMULACAO , ou seja, a area de deposicao mais distal atingida por uma corrente de turbidez, antes da planicie bacial. A sedimentacao "e" fina, (arenitos finos e folhelhos) uma vez que a corrente "esta" diluida neste momento da deposicao, e as camadas sao muito regulares. Ocorrem ciclos de granocrescencia e espessamento ascendente correlacionaveis "'a" Sequencia de Bouma. }

conclneg { Os dados nao correspondem a uma associacao de facies turbiditicas de LEQUE EXTERNO. }

FIM

ARQUIVO "PLBACI.CNJ"

conjunto "Associacao de Facies de PLANICIE BACIAL"

topspace PRIMEIRO

espaco PRIMEIRO

```

introd { A sequencia de perguntas refere-se 'as
        características de depositos turbiditicos de
        PLANICIE BACIAL. }
ques   { Voce quer rever as características da Associacao
        de Facies de PLANICIE BACIAL ?}
expl   { Posso fornecer-lhe um resumo dessas
        características. }
sim    EXPLICA
nao    LITOL
d      EXPLICA

```

```

espaco EXPLICA
introd { A PLANICIE BACIAL encerra depositos turbiditicos
        resultantes do transporte e deposicao de correntes
        de turbidez muito diluidas. Sao independentes e
        onlapam o leque submarino. Formam sequencias
        monotonas nao ciclicas, onde se alternam finas
        camadas de arenito, siltito, argilito e marga
        hemipelagica. }
ques   { O deposito em estudo pode corresponder a uma
        Associacao de Planicie Bacial ? }
expl   { Se nao ha' correspondencia, voce pode analisar
        outras associacoes.}
sim    LITOL
nao    -1
d      LITOL
prox   ULTIMO

```

```

espaco LITOL
ques   { Existem na unidade em questao rochas de
        granulometria fina a muito fina? }
expl   { Como as correntes de turbidez que atingem
        planicie bacial ja' perderam a maior parte da carga
        de sedimentos, normalmente nao se depositam nesta
        zona sedimentos mais grosseiras como arenitos medios
        a conglomerados da Facies A. }
resum  { A sedimentacao na unidade e' fundamentalmente fina
        a muito fina.}
sim    1
nao    ULTIMO
d      GRAO
prox   GROSS

```

espaco GROSS

ques { Alem da sedimentacao fina, voce reconheceu
litologias mais grosseiras ? }

expl { Embora na Planicie Bacial predomine a sedimentacao
muito fina, podem ocorrer olistostromas, que sao
depositos formados de blocos de grandes dimensoes.
}

sim QUANT

nao 2

d OLIST

prox LITOLD

espaco QUANT

ques { A quantidade de litologia grosseira e' muito
expressiva ? }

expl { A Planicie Bacial apresenta sedimentacao grosseira
de modo muito ocasional, representada por
desmoronamentos de porcoes da plataforma. O
predominio de litologias grosseiras indica porcoes
mais proximais dos depositos turbiditicos. }

sim ULTIMO

nao OLIST

d OLIST

espaco OLIST

introd { A Planicie Bacial e' o local preferencial para
deposicao de olistolitos (fluxoturbiditos ou
sismoturbiditos), que sao grandes blocos
desmoronados da plataforma e que atingem as zonas
mais distais com pouca deformacao. }

ques { Voce reconheceu Facies F na unidade ? }

expl { Facies F identifica depositos caoticos formados de
blocos (olistolitos) desmoronados geralmente a
partir de quebra de plataforma. Pode gradar 'a
Facies A2 (diamictitos). }

sim ENVOL

nao ULTIMO

d ULTIMO

espaco ENVOL

ques { Os sedimentos da Facies F entao envolvidos por
Facies D2 e D3 ? }

expl { As Facies D2 e D3 constituem a Sequencia de Bouma
com os intervalos basais Ta e Tb ausentes. }

resum { Ocorrem olistolitos envolvidos por sedimentos finos.
}

sim 5

nao ULTIMO

d 0

prox LITOLD

espaco LITOLD

ques { A litologia fina corresponde principalmente a Facies D ? }
 expl { Facies D indica arenitos muito finos a folhelhos formando
 depositos em lencol, resultantes da deposicao de correntes
 de turbidez de baixa densidade. }
 sim 1
 nao HEMIP
 d HEMIP
 prox CAMADA

espaco CAMADA

ques { Os sedimentos da Facies D dispoem-se em camadas
 regulares e plano-paralelas ? }
 expl { Regularidade significa manutencao de espessura e
 litologia por grandes extensoes das camadas. Nao
 deve ser confundida com deformacoes locais
 produzidas por fenomenos como explosoes de hidratos
 de gas. }
 resum { O acamadamento e' plano-paralelo e regular. }
 sim 1
 nao 0
 d 0
 prox BOUMA

espaco BOUMA

ques { As litologias predominantes correspondem 'as
 Facies D2 e D3 de Mutti ? }
 expl { As Facies D2 e D3 constituem a Sequencia de Bouma
 com os intervalos basais Ta e Tb ausentes. }
 resum { Predominio da Sequencia Tc-e de Bouma. }
 sim 5
 nao ULTIMO
 d 1
 prox CLIMB

espaco HEMIP

ques { Voce reconheceu sedimentos da Facies G na
 unidade? }
 expl { A Facies G e' reconhecida pela presenca de
 folhelhos pelagicos e hemipelagicos compostos de
 material terrigeno pelitico, contendo silte, areia
 fina, mica, carbonato. }
 resum { Ocorre sedimentacao normal de fundo marinho na
 unidade. }
 sim 4
 nao CARVAO
 d 1
 prox CARB

espaco CARB
 ques { Ocorrem camadas de carbonatos ou margas autoctones
 na unidade ? }
 expl { Nos sistemas turbiditicos terrigenos (com a fonte
 fracamente carbonatica) a presenca de carbonatos
 indica facies pelagicas que se desenvolvem na
 planicie bacial. }
 resum { A presenca de carbonatos indica uma forte
 contribuicao pelagica. }
 sim 2
 nao 0
 d 0
 prox CARVAO

espaco CARVAO
 introd { Em certos sistemas lacustres, o intervalo
 hemipelagico e' caracterizado como uma fina lamina
 carbonosa. }
 ques { Voce reconheceu laminas carbonosas como o unico
 tipo de sedimentacao hemipelagica entre as camadas
 da Facies D2 e D3 ? }
 expl { Em muitos sistemas lacustres nao se desenvolve
 biota plantonica carbonatica; o intervalo pelagico
 e' constituido por laminas de materia organica que
 se carbonizam devido a existencia de condicoes
 anoxicas, como e' o caso da Bacia do Reconcavo. }
 resum { O deposito em questao deve ser de origem lacustre.
 }
 sim 5
 nao 0
 d 0
 prox ULTIMO

espaco CLIMB
 ques { O intervalo Tc da Sequencia de Bouma apresenta
 laminacao cruzada com padrao "'climbing'" de baixo
 angulo simetrico ? }
 expl { A laminacao cruzada do intervalo Tc e' de baixo
 angulo muitas vezes confundivel com estrutura de
 onda. }
 sim 1
 nao 0
 d 0
 prox HEMIP

subesp GRAO

ques { Os arenitos nunca apresentam graos mais grosseiros do que areia fina ou muito fina? }

expl { A litologia da Associacao de Planicie Bacial e' predominantemente fina a muito fina, ja' que e' depositada por correntes de turbidez muito diluidas. }

resum { A sedimentacao e' predominantemente fina. }

sim 1

nao 0

d 0

prox CAMADA

espaco VASAS

ques { Ocorrem vasas de foraminiferos e cocolitos nos sedimentos ? }

expl { A distancia consideravel da Planicie Bacial de fontes terrigenas ocasionam uma concentracao de elementos pelagicos, formando vasas, que sao depositos de testas de foraminiferos e componentes de estruturas algaceas (cocolicos). }

sim 2

nao 0

d 0

prox ULTIMO

espaco ULTIMO

max 20

min 11

conclpos { A unidade em questao contem turbiditos da associacao de facies de PLANICIE BACIAL, ou seja, a area de sedimentacao mais distal de correntes turbiditicas. Predominam no conjunto sedimentos muito finos em sequencias monotonas nao-ciclicas, com acamadamento plano-paralelo onde alternam-se os sedimentos turbiditicos com aqueles de deposicao normal de fundo marinho. }

conclneg { A unidade em questao NAO corresponde a uma associacao de facies de PLANICIE BACIAL. }

FIM

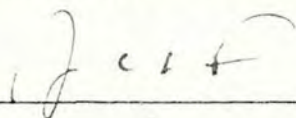
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Pós-Graduação em Ciência da Computação

Um protótipo de sistema
especialista para identificação
e classificação de turbiditos

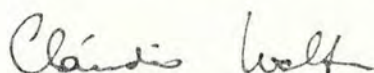
Dissertação apresentada aos Srs.



José Mauro V. de Castilho

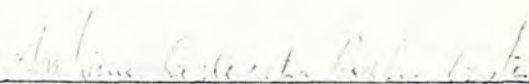


Jorge Carlos Della Fâvera

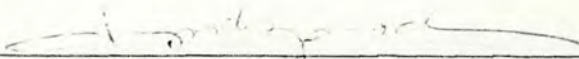


Claudio Walter

Visto e permitida a impressão
Porto Alegre, ..01../03../89...



Prof. Antônio Carlos da Rocha Costa
Orientador



Prof. Ingrid E. S. Jansch Pôrto
Coordenadora do Curso de Pós-Graduação
em Ciência da Computação