

Representação espacial de lobos e canais turbidíticos em afloramentos da região de Apiúna, Bacia de Itajaí, Santa Catarina

Spatial representation of turbidite lobes and channels in outcrops of Apiúna region, Itajaí Basin, Santa Catarina

João Paulo Pessoa dos Santos¹, Claudio Bettini², Marco Antonio Schreiner Moraes³

resumo

Ao desenvolver um novo campo, as características do reservatório, tais como espessura, área, porosidade, permeabilidade, heterogeneidade em várias escalas determinarão o espaçamento, o número, a orientação, a localização e a função operacional dos poços. O grau de incerteza associado aos reservatórios, logo após a descoberta de uma jazida, é elevado em função da reduzida quantidade de dados extraídos diretamente do novo campo petrolífero. Desta forma, é válido adicionar informações geológicas complementares obtidas de afloramentos análogos à base de dados. Com as novas tecnologias computacionais, os geólogos perceberam a necessidade de criar modelos geológicos que satisfizessem não só os aspectos geológicos, atendendo

à interpretação dos registros sedimentares, como também aspectos quantitativos. Este trabalho tem como objetivo criar modelos tridimensionais a partir de afloramentos análogos, de modo que se possa utilizá-los para complementar parâmetros morfológicos (estratigráficos) e petrofísicos de reservatórios, otimizando o processo de produção. Considerando os dados geológicos e estatísticos disponíveis, a maior parte do potencial por descobrir e das reservas conhecidas de petróleo de nosso país encontra-se em reservatórios formados por fluxos gravitacionais. Daí a escolha dos afloramentos denominados Apiúna 1 e 2, alvos da presente pesquisa, que se localizam na Bacia de Itajaí, no Estado de Santa Catarina. O resultado final desta pesquisa consiste na criação de modelos numéricos visualizados na forma de imagens volumétricas.

Palavras-chave: fácies | análogos | fluxos gravitacionais | turbidito | modelagem sedimentar

¹ Petrobras. Unidade de Negócio de Exploração e Produção do Rio Grande do Norte e Ceará. Gerência de Avaliação e Acompanhamento Geológico. jppessoa@petrobras.com.br.

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. bettini@geologia.ufrj.br.

³ Petrobras. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello. Gerência de Sedimentologia e Petrologia. masmoraes@petrobras.com.br.

abstract

While developing a new field, properties including thickness, area, porosity, permeability, heterogeneity of the reservoirs, determine the spacing, number, orientation and operational function of the wells. The uncertainty associated with the geological model, in the early stages of field development, is commonly high, due to the limited amount of data available directly from the new petroleum field. Thus, the use of geological information obtained from analog outcrops is used to complement the field data. New technologies allow geologists to build geological models that could not only satisfy geological aspects, conforming to the interpretation of sedimentary record, but also represent quantitative aspects such as reservoir properties distributions. This work aims at producing three-dimensional models from analog outcrops, which can be used to complete morphological (sedimentological and stratigraphic) and petrophysical parameters collected in the reservoirs. Such outcrop models can improve subsurface 3D models, and hence optimize the production process. According to current geologic and statistical data, the majority of the yet unexplored and of the already known Brazilian petroleum reserves occur in reservoirs formed by deep-water sediment-gravity flows. Accordingly, the focus of this research are turbidite outcrops located in the Itajaí Basin, in Santa Catarina State, named the Apiúna 1 and Apiúna 2 outcrops. The final result is a set of numerical models representing part of the Apiúna turbidite system (channels and lobes) in three-dimensional form.

(Expanded abstract available at the end of the paper).

Keywords: *facies | analogous | gravity flows | turbidite | sedimentary modeling*

considerações iniciais e objetivos

Logo após a descoberta de uma jazida de petróleo, faz-se necessária uma análise geológica detalhada, objetivando o seu desenvolvimento através de poços com diversas funções, tais como pro-

dução de hidrocarbonetos, injeção de água ou gás. Antes de iniciar um projeto de desenvolvimento da produção, a equipe encarregada do novo campo petrolífero analisará as alternativas de interesse da empresa, as quais serão testadas sobre um modelo simulado do reservatório. Os resultados gerados são extraídos da simulação do processo de produção sobre um modelo de reservatório, o qual se baseia em um conjunto muito limitado de dados. Logo, o nível de incerteza associado ao modelo, no estágio inicial de desenvolvimento de um campo, é muito alto, podendo ser atenuado com aquisição de dados adicionais.

Com o objetivo de diminuir as incertezas, podem-se adquirir novos dados diretamente ou através do uso de sistemas análogos. Uma forma prática e pouco dispendiosa de complementar dados de subsuperfície é através de estudos de caracterização de afloramentos análogos, em escala de reservatórios. Neste contexto, o presente trabalho apresenta estudos realizados em dois afloramentos de turbiditos da Bacia de Itajaí, Santa Catarina, que poderão servir como análogos para reservatórios petrolíferos turbidíticos das bacias marginais brasileiras. Apesar de apresentar contexto tectônico distinto das bacias de margem passiva, a bacia estudada tem exposições que possibilitam análises comparativas com depósitos turbidíticos de subsuperfície conhecidos nas bacias da margem leste brasileira, especialmente quanto às características das fácies de fluxos gravitacionais de águas profundas e seus elementos geométricos básicos.

Para a caracterização dos elementos de arquitetura (lobos e canais), utiliza-se de maneira geral os parâmetros geométricos de: espessura, largura, e comprimento. Uma das limitações na determinação dos modelos tridimensionais dos dois afloramentos é a impossibilidade de obter, diretamente no campo, a largura e o comprimento dos corpos. Desta forma, são aqui utilizados dados complementares de afloramentos que possuem características análogas.

O objetivo principal deste trabalho consiste em representar, na forma de modelos bi e tridimensionais, os elementos arquiteturais mapeados em afloramentos de sistemas turbidíticos, de maneira que o modelo criado possa servir para posterior simulação de fluxo e estudos de desenvolvimento de campos petrolíferos em reservatórios turbidíticos análogos. Escolheram-se afloramentos do complexo turbidítico Apiúna, descritos adiante, como alvos do projeto.

localização

Os afloramentos estão localizados na porção sudoeste da Bacia de Itajaí, que está contida na região leste do Estado de Santa Catarina (fig. 1). As duas seções aflorantes, denominadas de Apiúna 1 e Apiúna 2, estão posicionadas à margem da rodovia BR-470, nos quilômetros 97 e 97,5, respectivamente, próximos à cidade de Apiúna. O Afloramento Apiúna 1 tem 334,1m de extensão e aproximadamente 16m de altura, com mergulho estrutural de 22° para sudeste. Quando as camadas são empilhadas, a espessura real total da seção aflorante é de aproximadamente 98m. O Afloramento Apiúna 2 tem 197,7m de extensão, aproximadamente 11,0m de altura e 40m de espessura empilhada. Eles estão separados por uma ravina com aproximadamente 50m de largura.

geologia regional

contexto

A Bacia de Itajaí localiza-se no Estado de Santa Catarina, bordejando a Bacia do Paraná, sendo formada por seqüências vulcano-sedimentares e representando um importante elemento geotectônico do Escudo Sul-Brasileiro. Chemale *et al.* (1997) propõem um modelo de bacia de retroarco, formando uma faixa contínua desde a Bacia de Camaquã, no Rio Grande do Sul, até a Bacia de Itajaí, em Santa Catarina. O registro estrutural, no entanto, assim como o padrão de preenchimento sedimentar (Appi, 1991; Rostirolla, 1991; Rostirolla *et al.* 1992), levam à hipótese de uma bacia de antepaís.

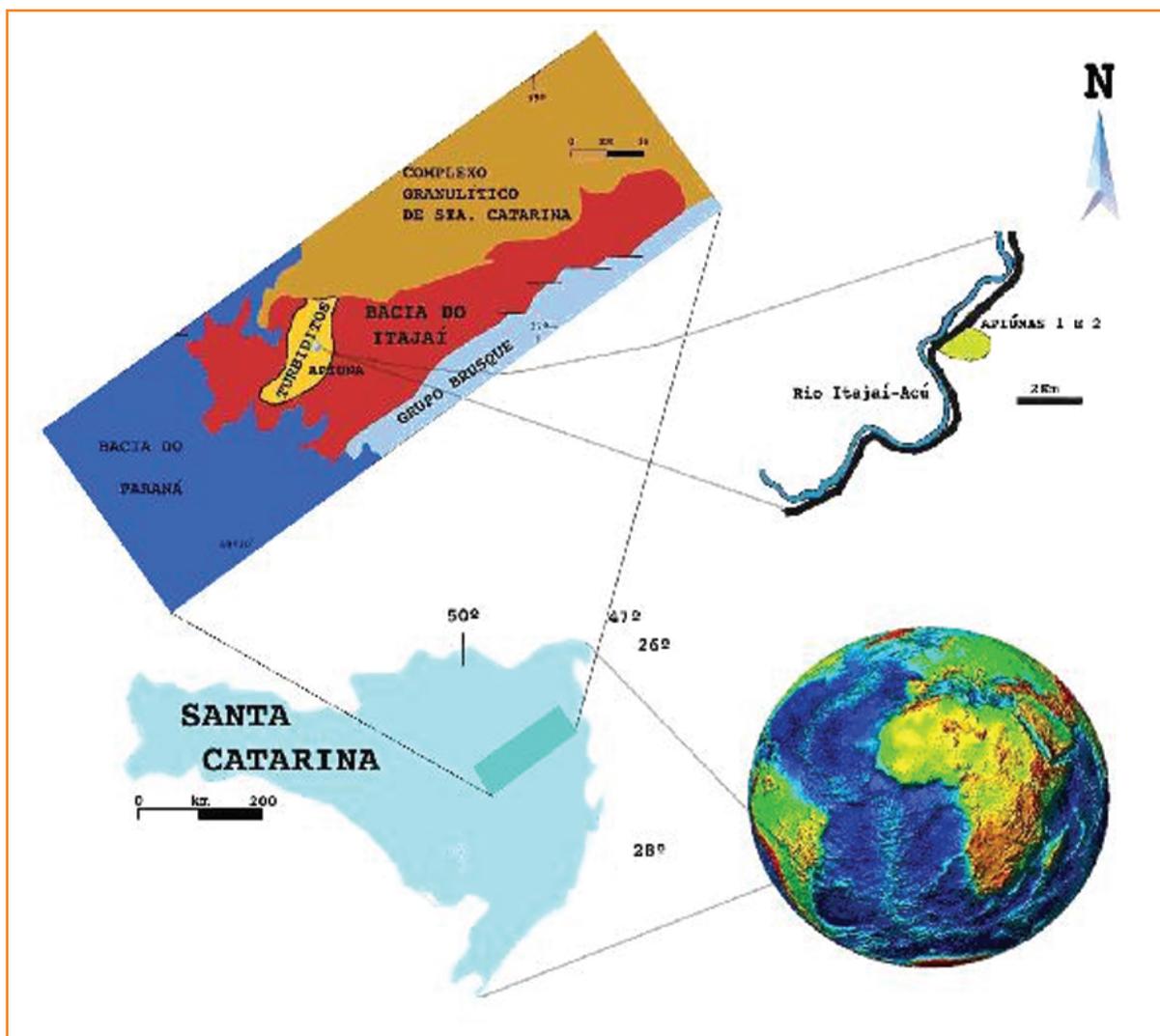


Figura 1
Mapa de localização dos
afloramentos Apiúna 1 e
Apiúna 2.

Figure 1
Location map of Apiúna 1 and
Apiúna 2 outcrops.

Os primeiros trabalhos geológicos realizados nesta área datam da primeira metade do século XX. Dutra (1926) definiu a Série Itajaí, descrevendo-a como formada por folhelhos argilosos e argilo-arenosos associados a quartzitos, arenitos e conglomerados arco-seanos. Em trabalhos posteriores, Appi e Souza Cruz (1990) e Appi (1991), utilizando os conceitos da Estratigrafia de Seqüência de Van Wagoner *et al.* (1990), dividiram as rochas da Bacia de Itajaí em duas seqüências deposicionais: Gaspar e Garcia (fig. 2).

A Seqüência Gaspar, inferior, constitui uma sucessão transgressiva iniciada por conglomerados polimíticos apresentando caráter maciço ou estratificação cruzada acanalada, relacionados com leques aluviais e leques deltaicos, que gradam para

arenitos médios a grossos de origem fluvial, e esses para arenitos muito finos com estratificação sigmoidal, associados à ambiente deltaico-estuarino.

A Seqüência Garcia, superior, foi considerada como assentada sobre uma discordância do tipo 1, conforme definido por Van Wagoner *et al.* (1988), por conter depósitos turbidíticos diretamente sobre o limite discordante, embora, conforme os próprios autores (Appi e Souza Cruz, 1990), a origem do evento esteja relacionada a um episódio tectônico regional. Sobre o complexo turbidítico, ocorrem pelitos de bacia profunda com mais de 2km de espessura, sobre os quais se depositou uma sucessão regressiva, com depósitos finos de plataforma sendo superpostos por depósitos areno-conglomeráticos associados a sistemas aluviais. As rochas da Bacia de Itajaí são meta-sedimentos, apresentando metamorfismo de baixo grau.

Mais recentemente, Fonseca (2004) sugeriu que a bacia seja policíclica, e que pelo menos cinco seqüências com evolução semelhante à descrita para as seqüências Garcia e Gaspar possam ser documentadas. Essencialmente, esse trabalho afirma que a Bacia de Itajaí constitui uma grande estrutura em homoclinal, com mergulho para sudeste, de modo que as repetições de associações de fácies interpretadas por autores anteriores como dobramentos representariam de fato uma sucessão sedimentar. De qualquer forma, todas as cinco seqüências iniciam com ambientes continentais, seguidos por sua transição para ambientes de águas profundas e arrasamento tardio, embora com a espessura relativa desses componentes sendo variável nas diferentes seqüências. O Complexo Turbidítico de Apiúna faria parte da Seqüência 2 de Fonseca (2004).

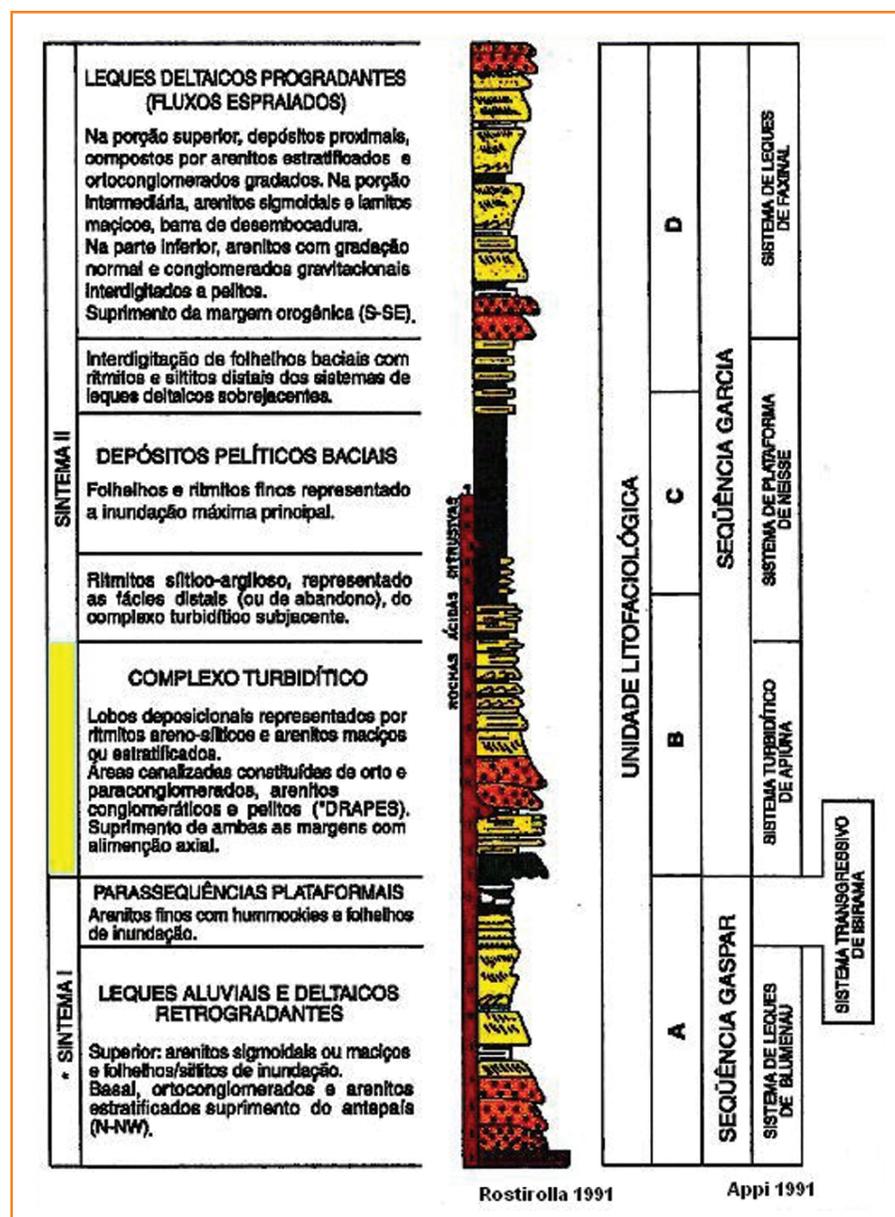
evolução tectono-sedimentar

Estudos de campo realizados por Rostirolla (1991) demonstram que a maioria das rochas magmáticas encontradas na Bacia de Itajaí são posteriores à sedimentação e deformação da bacia, constituindo brechas de injeção e mobilizados quartzofeldspáticos intrusivos em falhas e dobras. Entretanto, existem alguns clastos de origem vulcânica em alguns turbiditos (Rigon, 1983), cujas rochas fonte devem ter-se originado num regime tectônico distensional anterior à sedimentação.

Ao analisar os vários modelos tectônicos publicados sobre a bacia, Rostirolla (1991), concluiu que o modelo da bacia de antepaís (*foreland*) é o que

Figura 2
Coluna estratigráfica da Bacia de Itajaí. No lado direito visualizam-se os quatro grandes sistemas definidos por Appi (1991) e Rostirolla (1991).

Figure 2
Itajaí Basin stratigraphic column. On the right side are shown the four systems defined by Appi (1991) and Rostirolla (1991).



melhor se adapta ao estilo de preenchimento, à deformação e à relação com os eventos no cinturão. Rostirolla (1991) indicou três informações adicionais que corroboram a hipótese flexural:

- I. a nucleação da bacia foi gerada após deformação sincolisional (Basei 1985);
- II. Mantovani (1989) realizou modelagem gravimétrica que indica um aumento da profundidade do embasamento próximo à faixa orogênica;
- III. a bacia foi depositada em *onlap* sobre o antepaís e o eixo é paralelo ao cinturão dobrado.

Segundo Rostirolla e Figueira (1995), o tempo decorrido entre a sedimentação inicial e o anquimetamorfismo, mostra que o Grupo Itajaí representa uma unidade tectono-estratigráfica de primeira e segunda ordens, sendo maior que 50 Ma e de 3 a 50 Ma para cada ordem, respectivamente (Vail *et al.* 1991). Estas unidades depositaram-se em resposta ao avanço da lâmina d'água sobre o antepaís. A deposição dos sedimentos provenientes do antepaís ocorreu logo no início, ou no começo do dobramento adjacente, onde predominaram leques aluviais e deltas retrogradantes, e conjuntos de parasequências plataformas retrogradantes (Seqüências Gaspar) (figs. 3 e 4).

A diminuição da faixa móvel ampliou a subsidência, condicionando a formação do sistema turbidítico, com suprimento de sedimentos de ambas as margens da bacia (embora ainda preferencialmente do antepaís) e alimentação axial (fig. 5). Após a deposição do complexo turbidítico, o aumento da subsidência tornou a bacia "faminta", com a deposição de expressivo volume de sedimentos pelíticos, que cobriram em *onlap* o bloco de antepaís. Conforme discutido anteriormente, esta evolução, segundo estudos recentes de Fonseca (2004), seria policíclica, ou seja, com mais de uma fase de desenvolvimento de relevo tectônico e sua respectiva resposta sedimentar. A fase final do desenvolvimento da bacia é representada pelo assoreamento causado pela migração do cinturão dobrado no sentido da bacia, e diminuição do espaço disponível através da deposição de leques deltaicos provenientes da faixa orogênica (fig. 6). A bacia foi submetida ao principal esforço compressional após a deposição, com magnitude crescente próximo ao cinturão. De acordo com as medições dos indicadores cinemáticos, houve rotação horária das estruturas, compatível com deslocamento reverso, evoluindo para dextral na zona de falha principal. A segunda fase de deformação está condicionada à inversão distensional do campo de tensões (Rostirolla e Figueira, 1995).

Figura 3

Representação esquemática da deposição de leques aluviais e deltaicos da Seqüência Gaspar, basal, com suprimento do antepaís (adaptado de Rostirolla, 1995).

Figure 3

Schematic representation of the alluvial and fan deltaic Gaspar Sequence, basal, sediment supply from the foreland (modified from Rostirolla, 1995).

Figura 4

Representação esquemática da deposição de parasequências plataformas da Seqüência Gaspar basal, afogamento e *onlap* sobre o antepaís (adaptado de Rostirolla, 1995).

Figure 4

Schematic representation of parasequences platform Gaspar deposition Sequence, basal, flood and onlap over foreland (modified from Rostirolla, 1995).

Figura 5

Representação esquemática da deposição do sistema turbidítico de Apiúna, Seqüência Garcia (adaptado de Rostirolla, 1995).

Figure 5

Schematic representation of Apiúna turbidite system deposition, Garcia Sequence (modified from Rostirolla, 1995).

Figura 6

Representação esquemática da deposição de leques deltaicos progradantes do sistema de plataforma de Neisse, Seqüência Garcia, aporte sedimentar proveniente da margem orogênica (adaptado de Rostirolla, 1995).

Figure 6

Schematic representation of Neisse platform system fan-deltaic progradational depositon, Garcia Sequence, sediment supply from the orogenic belt (modified from Rostirolla, 1995).

fig. 3

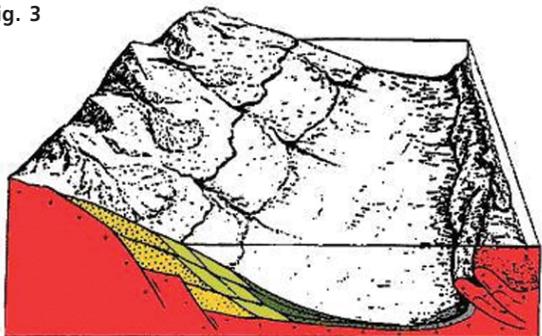


fig. 5

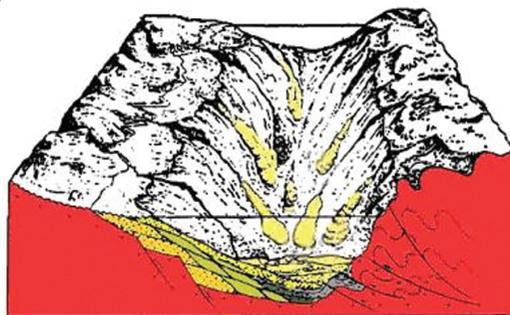
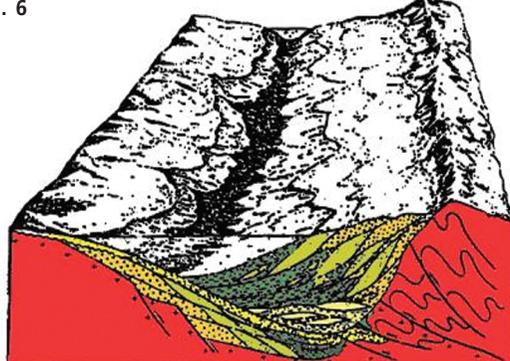


fig. 4



fig. 6



idade e correlação

Estudando o índice de cristalinidade das ílitas nos metassedimentos da Bacia de Itajaí, Macedo (1982) e Macedo *et al.* (1984) perceberam que estas rochas sofreram metamorfismo regional de baixa intensidade, em torno de 560 Ma, sugerindo uma idade de 590 Ma para a deposição. As atividades vulcânicas que afetaram a bacia na forma de diques e soleiras foram datadas e apresentam a idade de 541 +/- 26 Ma. Chemale *et al.* (1997) registraram a existência de icnofósseis *Diplocraterion* que indicariam que essas rochas não seriam mais antigas que o eocambriano.

métodos utilizados

caracterização das fácies sedimentares dos afloramentos Apiúna 1 e Apiúna 2

Para a caracterização de fácies do complexo turbidítico, seguiu-se o método tradicional de

construção de modelos deposicionais com descrição de seqüências verticais de fácies, documentação da geometria de corpos sedimentares e suas relações de contato, interpretação de processos e da evolução deposicional (Mutti *et al.* 1999). Assim, com base em parâmetros faciográficos obtidos nos afloramentos da região de Apiúna, tais como estruturas sedimentares, litologia, geometria e medidas de paleocorrentes (tabela 1), foram definidos modelos deposicionais conceituais que foram posteriormente transformados em representações numéricas tridimensionais, através do sistema GOCAD™. Portanto, a metodologia consistiu em:

- I. coleta de dados sedimentológicos no campo;
- II. interpretação dos dados, estabelecendo modelos conceituais;
- III. construção dos modelos numéricos.

Os afloramentos denominados Apiúna 1 e Apiúna 2 estão contidos na Seqüência Garcia e representam o desenvolvimento de parte do sistema turbidítico denominado por Appi (1991) de Sistema Turbidítico de Apiúna (fig. 2).

Para descrição das fácies utilizou-se, no presente trabalho, a classificação proposta por Mutti *et al.* (1999), como pode ser observado na figura 7.

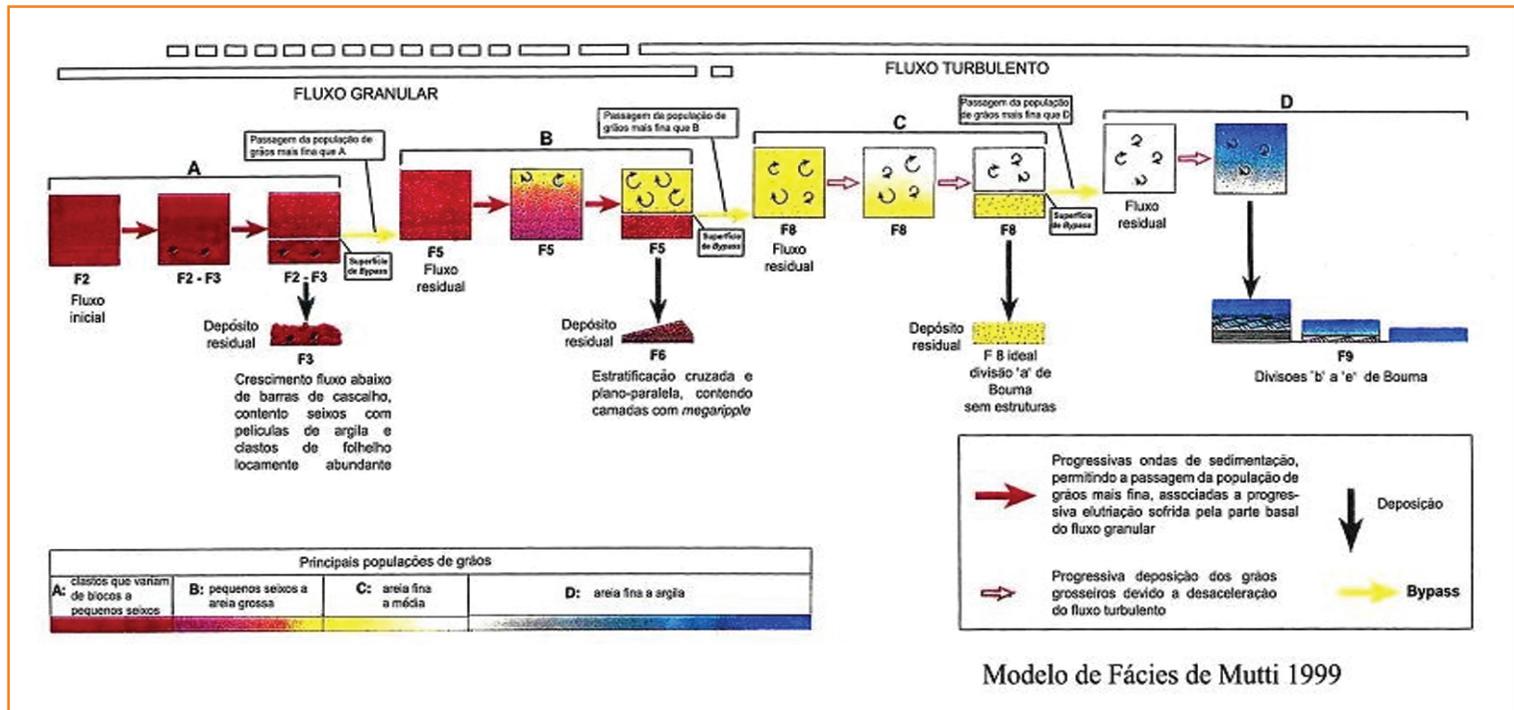


Figura 7 - Fácies de turbiditos de Mutti (1999).

Figure 7 - Turbidites Fácies of Mutti (1999).

Afloramento Apiúna 1 (F8,F9).	Afloramento Apiúna 2 (F1, F2, F5, F9)
Geometria: corpos tabulares, com topo ondulado e raras feições erosivas (fig. 8).	Geometria: ligeiramente acanaladas/irregulares (fig. 10)
Litologia: arenitos médios a finos, intercalados por camadas centimétricas a decimétricas de folhelhos, siltitos e arenitos médios mais espessos (fig. 9).	Litologia: predominam arenitos; granulometria predominante é areia média a grossa (F5); muito coesos devido à cimentação silicosa e incipiente metamorfismo. Ocorrem arenitos delgados intercalados com folhelhos (ritm itos), fácies F9. No topo dos afloramentos ocorrem conglomerado matriz-suportado (F2) e diamictito (F1) (fig. 10).
Estrutura sedimentares: sem estrutura aparente na quase totalidade. Ocorre microestratificação cruzada no topo das camadas, indicando intervalos Tbc de Bouma.	Estruturas: corpos aparentemente maciços com níveis de intraclastos de folhelhos escuros (fig. 11).
Paleofluxo: direção sudoeste, ao longo do eixo da bacia.	
Interpretação: lobos turbidíticos e franja de lobos formados em regime não confinado.	Interpretação: turbiditos canalizados e transição lobo-canal.

Tabela 1- Fácies dos afloramentos Apiúna 1 e Apiúna 2.

Table 1- Facies of Apiúna 1 e Apiúna 2 outcrops.

No Afloramento Apiúna 1, as camadas apresentam espessura decimétrica a métrica e geometria tabular, com os níveis de litologias finas (folhelhos e siltitos) sendo contínuos e pouco erodidos (fig. 8). As heterogeneidades internas das camadas de arenito estão associadas à variação da seleção, que é boa nos arenitos muito finos e regular a pobre nos mais grossos, e à variação granulométrica vertical (*fining-upward*) (fig. 9).

O Afloramento Apiúna 2 apresenta razão arenito/folhelho maior que a do Apiúna 1, com camadas espessas apresentando geometria comumente lenticular (bases erosivas) e, conseqüentemente, maior continuidade vertical (amalgamação) entre as camadas (fig. 10). As evidências de erosão são demonstradas pela ocorrência de expressivos fragmentos de folhelhos e feições de corte e preenchimento (fig. 11). Os corpos mais espessos de arenito localizam-se na terça parte superior do afloramento, sendo constituídos de arenitos mais grossos, mal selecionados, com base ondulada e feições erosivas.

sucessão vertical dos afloramentos Apiúna 1 e Apiúna 2

Os parâmetros que serviram para interpretar o ambiente deposicional (lobos e canais) foram os tipos de fácies e a geometria externa das camadas observadas ao longo do afloramento. Segundo Mutti (1992), as características texturais, as estruturas sedimentares e, mais importante, a relação espacial

entre a fácies caracterizam a posição no ambiente de deposição turbidítico.

As fácies sedimentares observadas no Afloramento Apiúna 1 sugerem a deposição de sedimentos transportados por fluxos predominantemente turbulentos. A geometria tabular das camadas, com poucas evidências de erosão na base, indica tratar-se de um ambiente de deposição não-confinado de lobos. As fácies F9 representam franjas de lobos, depositados na porção distal e marginal aos lobos, dentro do sistema de leques. As fácies F8 representam a deposição de sedimentos na porção mais axial de lobos.

A presença de quatro diferentes tipos de fácies no Afloramento Apiúna 2 demonstra que, durante a deposição deste intervalo, ocorreram diferentes condições hidrodinâmicas. Os corpos arenosos, com geometria ligeiramente acanalada, possuem fácies F5, sendo interpretados como transição lobo-canal. As fácies F9 que ocorrem na porção intermediária do afloramento podem ser interpretadas como depósitos inter-canais. Na parte superior do afloramento, ocorrem conglomerados argilosos e diamictitos. O conglomerado é formado por fluxo de massa pouco evoluído, representando a fácies F2. A deposição destes tipos litológicos pode ser interpretada como uma reativação tectônica da bacia, ocorrendo em outras seqüências em diferentes afloramentos.

A parte basal do Apiúna 2 sobrepõe-se ao topo do Apiúna 1. Considerando uma transição normal de lobos para depósitos de transição canal-lobos até conglomerados possivelmente associados a canais no topo do Apiúna 2, isto representaria uma prograda-

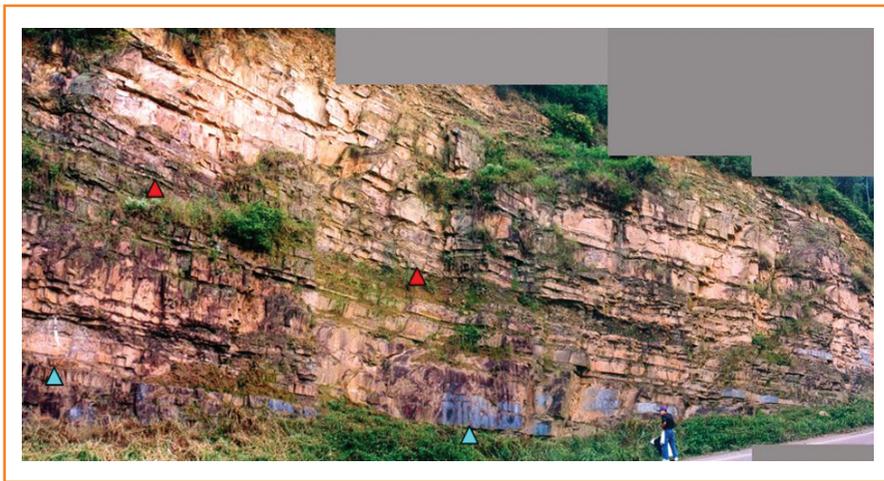


Figura 8
Afloramento Apiúna 1 com sua visão oblíqua dos canais com geometria tabular. Nota-se a presença dos arenitos intercalados com folhelhos (*thin-bedded turbidites*) na porção intermediária do afloramento: ▲ e arenitos espessos na porção inferior: ▲ (foto de Luci Arienti).

Figure 8
Apiúna 1 with obliques view of the channels with tabular geometry. Note that the sandstones are interbedded with shale (thin-bedded turbidites) at medial part of the outcrop: ▲ and thick sandstone at basal part: ▲ (from Luci Arienti).

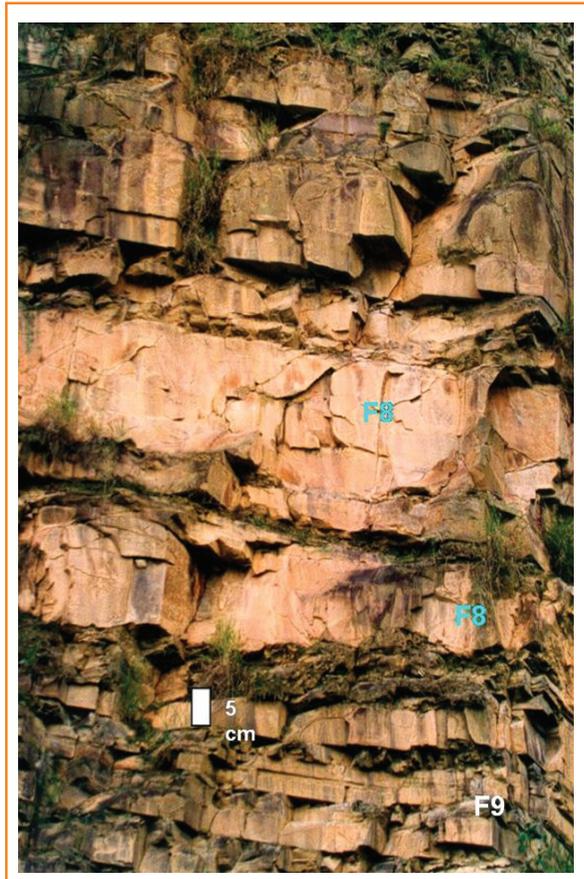
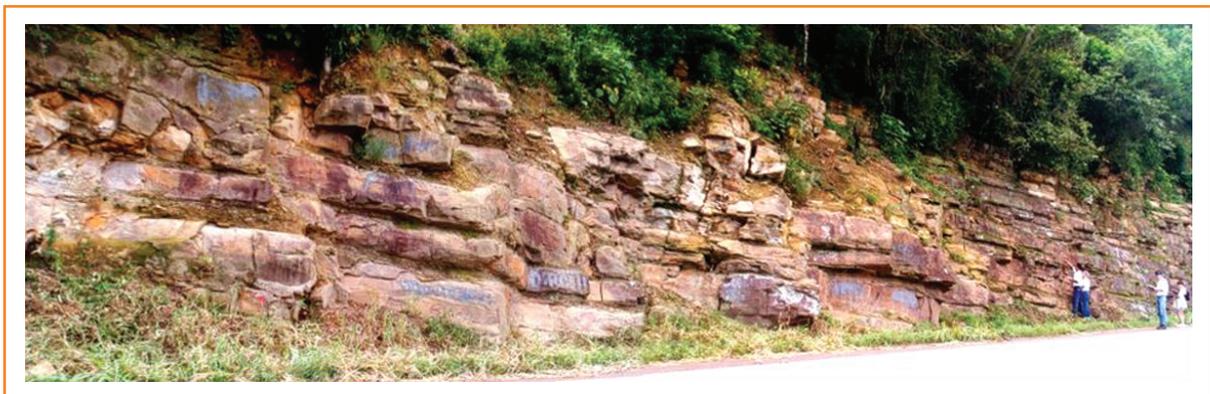


Figura 9
Apiúna 1 – exemplo das fácies F9 e F8 (foto de Luci Arienti).

Figura 9
Apiúna 1 – example of F9 and F8 facies (from Luci Arienti).

Figura 10
Visão oblíqua do Afloramento Apiúna 2 (foto de Luci Arienti).

Figura 10
Obliques view of Apiúna 2 Outcrop (from Luci Arienti).



ção do sistema. Entretanto, pela existência de uma zona de falha que separa os dois afloramentos, torna-se difícil dizer se a sucessão é contínua. Portanto, a sobreposição do Apiúna 2 sobre o Apiúna 1, indicando uma progradação de todo o leque, requer um estudo mais detalhado, não só do ponto de vista estratigráfico como também estrutural.

sistema turbidítico

Segundo Mutti *et al.* (1999), o termo Sistema Turbidítico foi introduzido no COMFAN (Comitê para Leques Submarinos) por Bouma *et al.* (1985) para evitar confusão entre modernos sistemas deposicionais deltaicos, caracterizados pela geometria em forma de leque, vista em planta, e antigos sistemas deposicionais turbidíticos nos quais a forma geométrica, também vista em planta, é de difícil visualização.

Mutti (1985) e Mutti e Normark (1987, 1991) sugeriram que o preenchimento sedimentar por turbiditos pode ser subdividido através da ordenação hierárquica das unidades, partindo da unidade maior para as menores, em: complexo turbidítico, sistema turbidítico, estágio e subestágio. A partir desta subdivisão, um sistema turbidítico antigo é considerado como uma unidade estratigráfica, composta de associações de fácies geneticamente relacionadas, as quais registram episódios de deposição de areias turbidíticas.

Os elementos mapeáveis que determinam as principais zonas de transferência e deposição do fluxo gravitacional sedimentar subaquoso, dentro de cada sistema, são definidos através das associações de fácies e superfícies erosionais. Feições erosionais submarinas de grande escala e canais são características das zonas de transferência dos sistemas turbidíticos. As zonas de deposição destes sistemas são representadas, longitudinalmente, por extensos lobos arenosos associados aos depósitos em áreas de



Figura 11
Corpos arenosos tabulares,
ligeiramente acanalados (foto
de Luci Arienti).

Figure 11
Tabular body sandstones, a
little channelized (from Luci
Arienti).

baixo gradiente. Ao longo da margem da bacia, espessas cunhas de lamitos de talude com turbiditos delgados (*thin-bedded turbidites*) e turbiditos de granulometria fina (*fine-grained turbidite*) constituem a conexão física entre a deposição de turbiditos de bacia e os sistemas flúvio-deltaicos formados nas regiões plataformais. De acordo com os trabalhos realizados por Mutti *et al.* (1988), na porção proximal da bacia de Trepmp-Pamplona, centro-sul dos Pirineus, as extensas feições erosionais de grande escala submarina são da ordem de muitos quilômetros e possuem extensão vertical que pode alcançar 500m, assemelhando-se aos *canyons* e vales de sistemas de leques modernos. Talude abaixo, as profundidades dos cortes erosivos diminuem, tornando-se canais rasos que, em muitos casos, são de difícil reconhecimento no campo.

Na saída dos condutos, as correntes atingem regiões menos confinadas da bacia. A mistura de sedimentos com água, ampliada pela adição do fluido do ambiente por onde o fluxo transita, espalha-se e se atrita, causando progressiva desaceleração. Durante este processo, o fluxo basal progressivamente perde o seu fluido sobreprensado, e seus sedimentos mais finos são incorporados ao fluxo turbulento. Fluxos estáveis elutriados são desta maneira forçados a depositar a sua carga de sedimentos mais grossos devido ao aumento do cisalhamento do fluxo. Com o contínuo deslocamento talude abaixo, a turbulência progressivamente desacelera o fluxo no

espaço e no tempo, depositando um expressivo volume de areias finas e lama, principalmente através dos processos de tração/suspensão e decantação.

Lobos formados por arenitos e depósitos de assoalho de bacia formam um contínuo registro em diferentes estágios, durante a principal fase de deposição das correntes de turbidez. Estes sedimentos são caracterizados pela destacada forma tabular com muitos quilômetros de extensão.

Em bacias associadas a cinturões de empurrões e dobramentos, lobos e depósitos de assoalho de bacia são representados por grande volume de arenitos e lamitos alternados, formando às vezes parte de um expressivo cinturão orogênico, como no caso da porção norte do Apeninos (Mutti e Ricci Lucchi, 1972).

Numa tentativa de melhor compreensão no que se refere ao reconhecimento da ordem de grandeza dos elementos arquiteturais, foi utilizada neste estudo uma classificação levando em consideração as dimensões médias dos elementos geométricos (espessura, largura e comprimento). Dessa forma, lobos com larguras que variam de 900m a 200m e comprimentos que variam de 1.000m a 4.000m definem-se como lobos individuais; lobos que possuem 3.000m a 8.000m de largura e comprimento de 6.000m a 10.000m definem-se como lobos compostos e lobos com largura maior que 9.000m e comprimento maior que 10.000m definem-se como complexos de lobos. Para os canais,

definem-se como canais individuais os canais que possuem espessuras que variam de 5m a 10m e larguras que variam de 50m a 100m; os canais que possuem largura de 600m a 800m são definidos como canais compostos, enquanto canais com largura quilométrica definem-se como complexos de canais.

O Complexo Turbidítico de Apiúna se desenvolveu preferencialmente para a direção sudoeste, ao longo do eixo da bacia e, de acordo com as associações de fácies e feições erosivas observadas no afloramento, podemos definir o Afloramento Apiúna 1 como pertencente ao sistema do tipo I de Mutti (1985), isto é, representa a deposição de lobos e franja de lobos. Já o Afloramento Apiúna 2, interpretado como turbidito canalizado e transição canal-lobo, pertence ao sistema do tipo II de Mutti (1985).

utilização do programa de modelagem tridimensional

Como instrumento de construção do modelo computacional, utilizou-se o sistema GOCAD™, desenvolvido pela Universidade de Nancy, na França.

O processo de criação dos modelos tridimensionais dos afloramentos Apiúna 1 e Apiúna 2 abrange quatro etapas, a saber:

- I. a primeira etapa consiste na importação dos dados de campo na forma de uma imagem bidimensional. No caso presente, são fotomosaicos digitalizados;
- II. nesta etapa define-se a real dimensão do modelo, respeitando, aproximadamente, as dimensões obtidas no campo, sem distorções. Utiliza-se o comando *resize voxet with points*, onde se abre uma janela na qual são inseridos os valores necessários para redimensioná-los. Ao carregar a imagem, ela se aloja numa região da tela denominada de câmera, lugar onde todos os objetos são visualizados. Este local é um espaço tridimensional que pode assumir diversas escalas geográficas. A etapa de redimensionamento é necessária, pois, ao importar uma

foto, por padrão (*default*), ela fica posicionada no plano XY. Logo, com o comando *resize* e preenchidos os parâmetros necessários na janela que se abre, a foto ficará posicionada no plano XZ;

- III. a terceira etapa consiste na criação de curvas abertas e fechadas. Respeitando a interpretação, são criadas as curvas que delimitam, numa imagem em duas dimensões, os lobos e os canais (fig. 12). Com os comandos *curves* → *new* → *curves* é permitida a digitalização das curvas com o cursor (*mouse*). Ao realizarmos esse processo para cada corpo, criamos cópias das curvas de cada lobo, canal e substratos (condensações), as quais foram espaçadas e ajustadas dentro do modelo, de modo que respeitassem as dimensões dos parâmetros tridimensionais obtidos pelas fórmulas (A), (B), (C) e (D) definidas abaixo;
- IV. o último processo se restringe à criação das superfícies que delimitam as zonas de condensação, o folhelho da base e as superfícies fechadas que delimitam os elementos arquiteturais lobos e canais. Para esta etapa são utilizados os comandos *surface* → *new surface* → *from several curves*. Após este comando, o programa solicita que o usuário selecione as curvas que servirão como guia para a construção das superfícies (fig. 12). É importante ressaltar que os comandos realizados para a construção dos lobos são iguais aos solicitados para a construção dos canais. Os modelos são salvos ao criar um nome com a extensão *.prj*.

modelagem

Ao elaborar um modelo geológico numérico, o pesquisador baseia-se em seus conceitos e interpretações qualitativas, tanto quanto em dados quantitativos obtidos no campo. A ênfase deste trabalho foi na coleta de dados morfométricos dos afloramentos Apiúna 1 e Apiúna 2, para fins da construção de modelos tridimensionais dos depósitos. Neste contexto, também é válido transferir informações

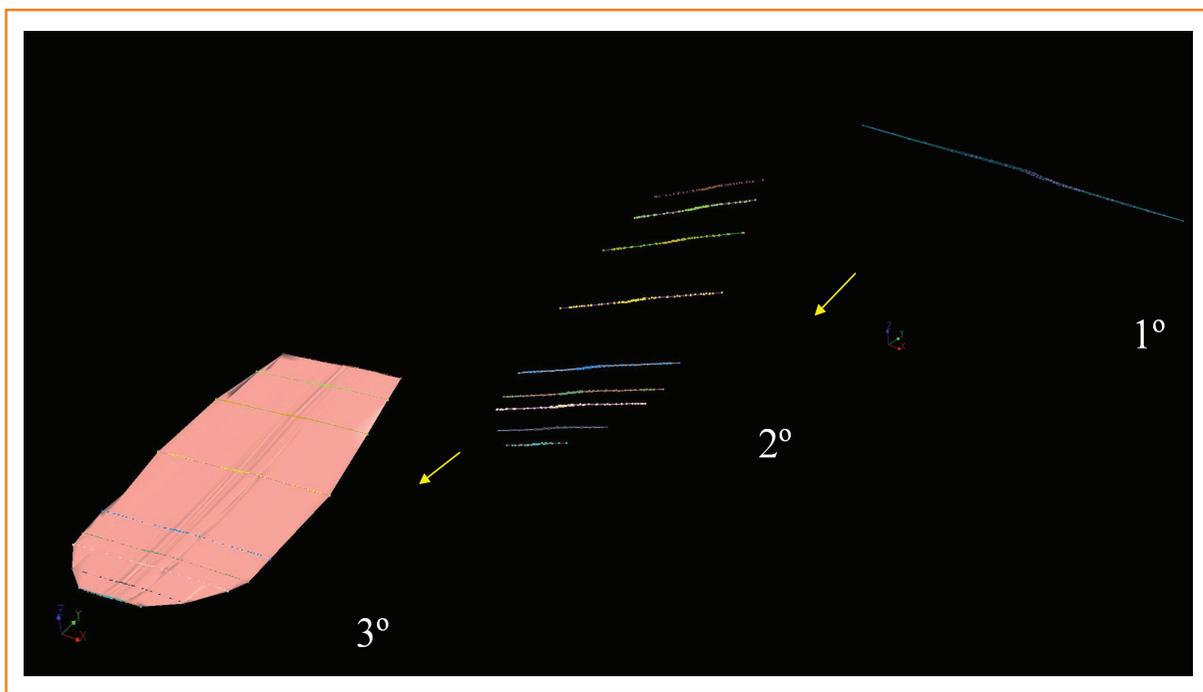


Figura 12
Lobo formado a partir das
curvas fechadas e espaçadas.

Figure 12
Lobe construct from closed
and spaced curves.

complementares, qualitativas e/ou quantitativas, provenientes de situações geológicas análogas, para suprir as limitações encontradas na obtenção de dados de campo.

O processo de construção do modelo numérico, que representa as dimensões de 500mX500mX100m do Afloramento Apiúna 1 e 300mX300mX40m do Apiúna 2, abrangeu três etapas. A primeira consistiu na interpretação dos dados de campo, que reuniu todo o levantamento sedimentológico e estratigráfico, cujo resultado final está expresso nas seções geológicas (figs. 15 e 18). A segunda etapa consistiu na delimitação dos elementos arquiteturais de cada seção a partir do contato das camadas sedimentares e da determinação dos elementos geométricos dos lobos e canais turbidíticos. A última etapa consistiu na construção do modelo tridimensional, através de programa de modelagem geológica.

A seção Apiúna 1 é interpretada como lobos e franja de lobos, separados por zonas de condensação. Os corpos sedimentares arenosos representam os elementos arquiteturais lobos individuais turbidíticos, cujas fácies F8 (arenitos espessos) são as mais representativas deste afloramento. Estes corpos possuem contato brusco e por vezes encontram-se amalgamados. Os arenitos delgados, interpretados como franjas de lobos, constituem as fácies F9 (arenitos intercalados) e caracterizam-se por serem as fácies de interesse secundário, repre-

sentadas no modelo pela área vazia. Os três níveis de folhelhos observados no afloramento representam um estágio de parada do sistema turbidítico. São registros que representam um período de estabilidade tectônica ou subida do nível do mar. Colocando estas fácies em coordenadas estratigráficas e corrigindo o deslocamento dos corpos falhados, esta seção ficou com o comprimento de aproximadamente 330m por 100m de espessura total (fig. 15).

O Afloramento Apiúna 2 é interpretado como turbiditos canalizados e depósitos de transição canal-lobo. Corrigindo o deslocamento dos corpos falhados e colocando-os em coordenadas estratigráficas, a seção se apresenta com espessura total de aproximadamente 40m. As fácies mais representativas são os arenitos de preenchimento dos canais (F5), de espessura centimétrica a métrica. Localmente, ocorrem clastos de folhelhos e freqüentemente folhelhos delgados depositados por decantação. No terço inferior do afloramento, ocorrem os arenitos intercalados delgados (*thin-bedded turbidites*), interpretados como depósitos de extravasamento de canal. No terço superior ocorrem conglomerados (F2) e diamictitos (F1), também interpretados como de preenchimento de canal. Pela geometria essencialmente tabular dos corpos, admite-se que os canais sejam relativamente rasos. Pela interpretação realizada, determinou-se um canal com espessura de 6m e outro com 13m, aproximadamente. A espessura dos lobos e canais é o único parâmetro geométrico possível de se medir no campo.

Foi possível a construção tridimensional dos lobos e canais através dos estudos sedimentológicos de campo, onde se utilizaram as fotos dos afloramentos e associações de fácies, as quais deram sustentação ao mapeamento da continuidade lateral dos corpos. Os elementos arquiteturais são definidos pelas variáveis espessura, largura e comprimento. A largura dos elementos é estimada na direção ortogonal à direção do fluxo turbidítico, e o comprimento, na mesma direção do eixo do elemento. As espessuras foram obtidas no campo e pelas fotos. Apesar da boa continuidade lateral dos corpos, não é possível medir a largura e o comprimento total dos elementos no campo. Estes parâmetros foram obtidos através de estudos de outros turbiditos. Segue-se a descrição do processo utilizado para quantificar os atributos geométricos de cada elemento.

Figura 13
Gráfico esquemático, ilustrando o processo de estimação das larguras e comprimentos de lobos a partir das espessuras. As retas são inferidas por regressão linear (imagens médias de L, E e C).

Figure 13
Schematic representation, illustrating process of estimation of width and length of lobes from thickness. The straight line is inferred by linear regression (average image of W, T and L).

Apiúna 1

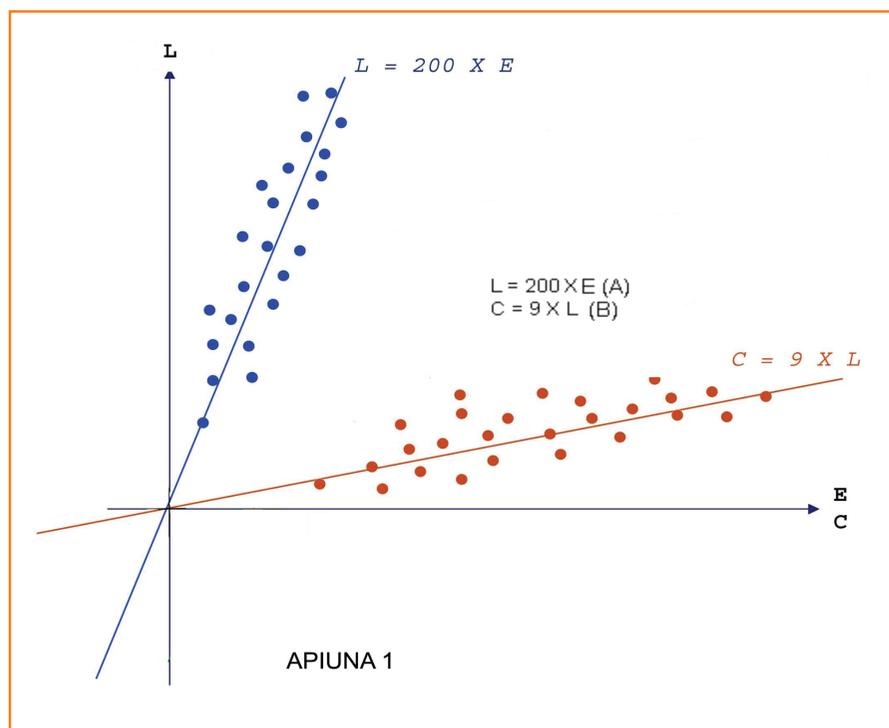
Parâmetros dimensionais de lobos são muito mais escassos do que os de canais. De qualquer forma, estima-se que as razões de aspecto de lobos (R.A = largura/espessura) devem ser maiores do que as dos canais. Na literatura, en-

contram-se valores variando de 50-70 para canais deposicionais (Carr e Gardner, 2000) até 200-400, ou até maiores, segundo figura apresentada por Bruhn (1998). De um modo geral, devido à tendência de os lobos apresentarem compensações laterais, pode-se prever que lobos individuais devem apresentar razões de aspecto mais baixas que grupos ou complexos de lobos. Por isso, uma razão de aspecto de aproximadamente 200, que, apesar de ainda cair no campo de canais deposicionais (Clark e Pickering, 1996), é representativa de pelo menos parte dos lobos observados em afloramentos (Carr e Gardner, 2000). Em relação à razão de aspecto comprimento/largura, segundo a literatura, a variação é de aproximadamente 8-10 (Clark e Pickering, 1996). Assim, no caso dos lobos, a partir da espessura medida nos afloramentos e através de observações na seção geológica, obtiveram-se a largura e o comprimento pelas fórmulas (A) $L = 200 \times E$ e (B) $C = 9 \times L$.

Apiúna 2

No caso dos canais, as espessuras foram obtidas através das observações de campo, pela foto do afloramento e pela comparação com afloramento análogo. O exame das relações entre espessura e largura do Grupo Hecho (Eoceno dos Pirineus, Espanha) mostra valores de razão de aspecto da ordem de 50-60 para a maioria destes canais (Clark e Pickering, 1996). As associações de fácies e relações laterais observadas nestes canais indicam que eles devem ser mais erosivos (proximais) do que os do Afloramento Apiúna 2. Assim, optou-se por usar uma razão de aspecto de 70 para se construir o modelo desse afloramento, por representar melhor um sistema de canais mais deposicionais (Clark e Pickering, 1996). Dados de razão de aspecto comprimento/largura de canais são escassos na literatura. Entretanto, em virtude da interpretação proposta por estes autores, utilizaram-se as seguintes equações (C) $L = 70 \times E$ e (D) $C = 8 \times L$.

Desta forma, as imagens finais dos modelos podem ser observadas nas figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20 a seguir:



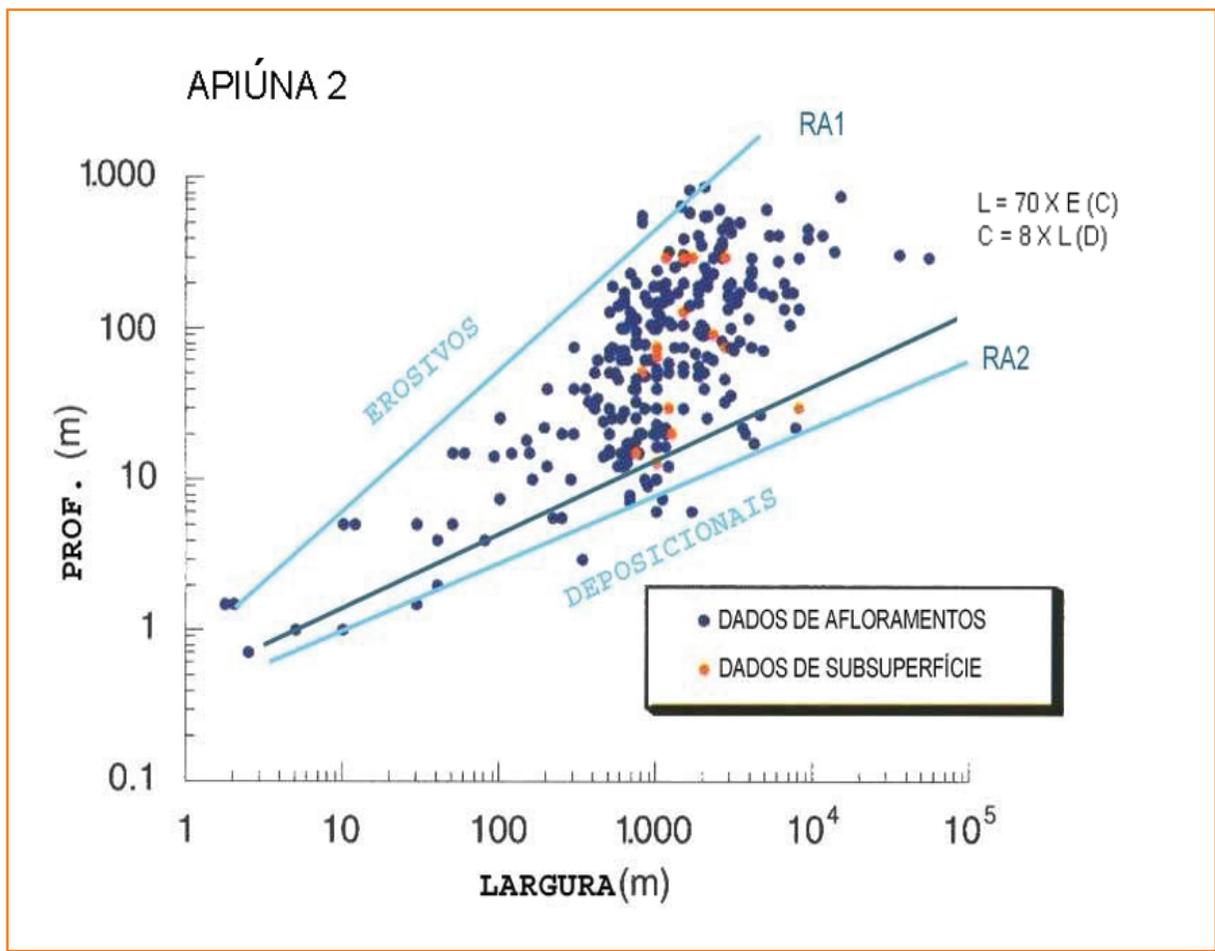


Figura 14
 Representação esquemática, ilustrando o processo de estimação das larguras e comprimentos de canais a partir das espessuras. As retas foram inferidas por regressão linear (imagens médias de L, E e C). Adaptado de Clark e Pickering (1996).

Figure 14
 Schematic representation, illustrating process of estimation of width and length of lobes from thickness. The straight lines were inferred by linear regression (average image of W, T and L). Modified from Clark and Pickering (1996).

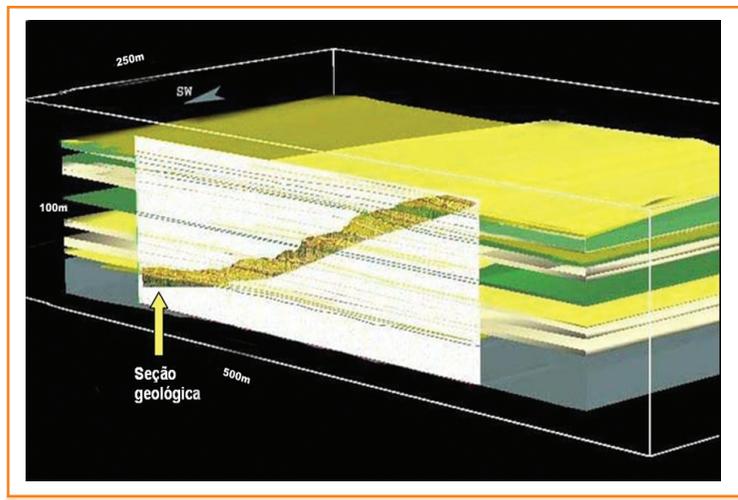


Figura 15 – Modelo (3D) segmentado no nível do Afloramento Apiúna 1 (2D). Notar os três níveis de condensações (verdes) e entre eles as camadas de arenito (lobos individuais amarelos).

Figure 15 – Segmentary (3D) model at Apiúna 1 outcrops level (2D). Note three levels of condensation (green) and, between them, the sandstone beds (yellow single lobes).

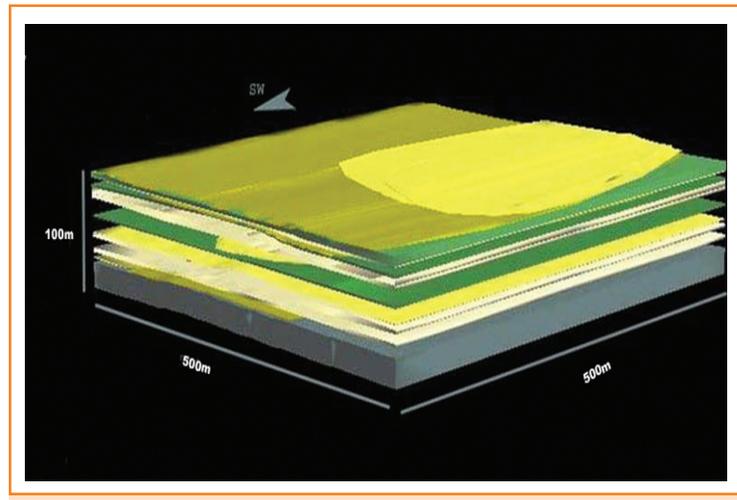


Figura 16 – Modelo Apiúna 1 completo. Devido às dimensões do modelo, a maioria dos lobos apresenta-se truncados pelos limites do modelo, aparentando elementos com geometria plana.

Figure 16 – Complete Apiúna 1 Model. Due to dimensions of models, the majority of lobes are truncated by the model's limits, with plane geometry.

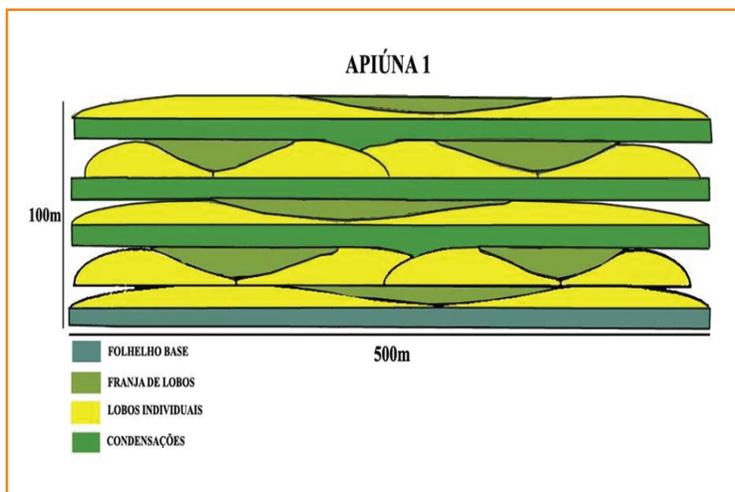


Figura 17 – Figura esquemática ilustrando o empilhamento dos elementos arquiteturais observados no Afloramento Apiúna 1.

Figure 17 – Schematic representation illustrating the stacking of architectural elements of Apiúna 1 Outcrop.

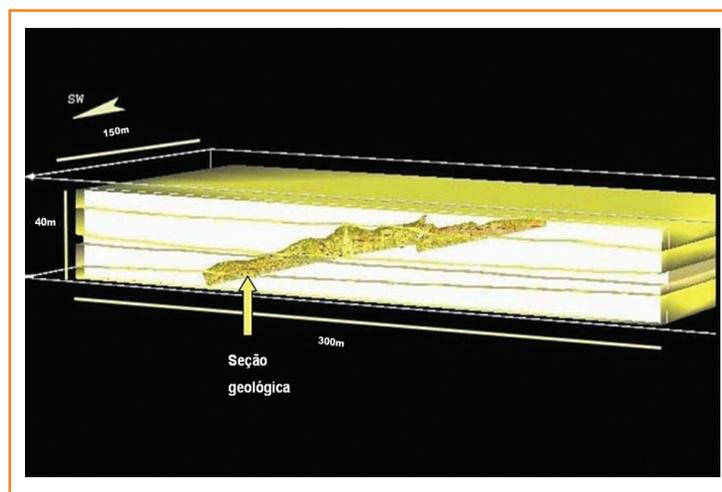


Figura 18 – Neste exemplo o modelo Apiúna 2 foi segmentado no nível do afloramento.

Figure 18 – In this example the model Apiúna 2 was segmented on the outcrop level.

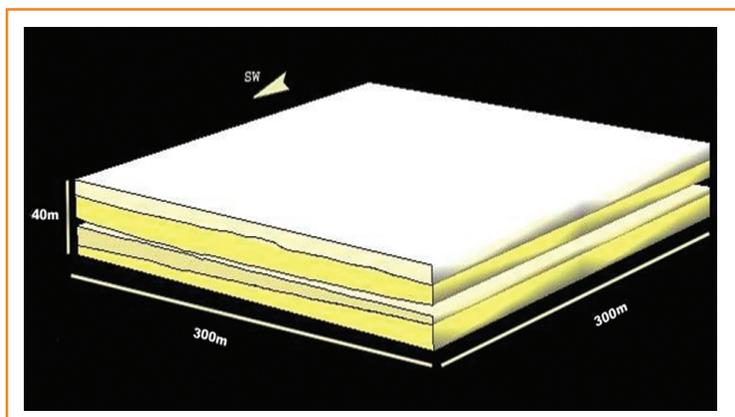


Figura 19 – Modelo do Apiúna 2. Notar que os canais são rasos. O modelo não abrange a largura total dos canais.

Figure 19 – Apiúna 2 model. Note that the channels are shallow. The model don't represent the total width of the channels.

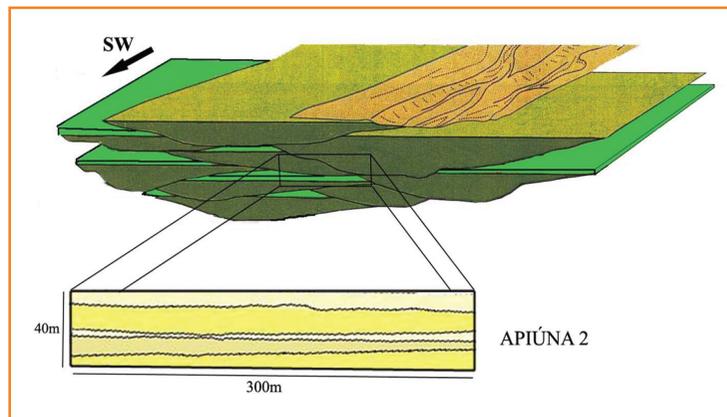


Figura 20 – Representação esquemática dos canais turbidíticos do Afloramento Apiúna 2.

Figure 20 – Schematic representation of turbidite channels of Apiúna 2 Outcrop.

Conclusão

O resultado deste trabalho demonstra que é possível quantificar modelos geológicos conceituais, traduzindo-os para uma linguagem numérica. Este é o elo de comunicação entre o geólogo que elabora o modelo conceitual e o engenheiro de reservatório,

que necessita de um modelo numérico para realizar simulações de fluxo.

Os modelos universais para turbiditos perderam a aplicabilidade geral devido à descoberta e documentação de novas situações, com suas particularidades, requerendo novos modelos e reforçando a importância de se ter o maior número possível de casos descritos. A existência de novos modelos

facilita a identificação do análogo mais próximo de cada situação específica em subsuperfície.

Apesar da evolução tectônica distinta das bacias de margem passiva, a bacia estudada neste trabalho possui exposições (afloramentos) que possibilitam análises comparativas com depósitos turbidíticos de subsuperfície conhecidos nas bacias da margem leste brasileira.

A construção de um modelo geológico numérico baseia-se não apenas em dados quantitativos, obtidos no campo, mas também na contribuição de dados qualitativos e conceitos desenvolvidos pela comunidade científica. Daí a importância das descrições detalhadas de afloramentos, valorizadas pela indústria do petróleo para complementar a caracterização de reservatórios em subsuperfície.

Integrando os estudos sedimentológicos de campo, a análise detalhada de fotos dos afloramentos, e os modelos de depósitos turbidíticos disponíveis na literatura, foi possível a modelagem tridimensional dos lobos e canais observados na região de Apiúna. Os elementos arquiteturais são definidos pelas variáveis espessura, largura e comprimento. A largura dos elementos é estimada na direção ortogonal à direção do fluxo turbidítico, e o comprimento, na mesma direção do eixo do elemento. As espessuras foram obtidas no campo e pelas fotos. Apesar da boa continuidade lateral dos corpos, não é possível medir a largura e o comprimento total dos elementos no campo, reforçando a importância do trabalho com as fotos, assistido pelos estudos de outros turbiditos. Assim, a partir da espessura medida nos afloramentos, obtiveram-se a largura e o comprimento através de relações estatísticas obtidas no campo e em análogos.

O resultado objetivo deste projeto ficou restrito a imagens tridimensionais de parte do sistema turbidítico de Apiúna.

referências bibliográficas

APPI, C. J. **Análise estratigráfica da seção metassedimentar do grupo Itajaí no estado de Santa Catarina.** 1991. 119 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

APPI, C. J.; SOUZA CRUZ, C. E.; ROSTIROLLA, S. P. Estratigrafia de seqüência na Bacia de Itajaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990,

Natal. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990. v. 1. p. 93-106.

BASEI, M. A. S. **O cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina.** 1985. 190 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

BOUMA, H.; NORMARK, W. R.; BARNES, N. E. (Ed.). **Submarine fans and related turbidite systems:** frontiers in sedimentary geology. New York: Springer, 1985. 351 p.

BRUHN, C. H. L. Major types of deep-water reservoirs from the eastern Brazilian rift and passive margin basins. In: INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION, 1998, Rio de Janeiro. **Extended abstracts...** Rio de Janeiro: American Association of Petroleum Geologists, 1998. (AAPG Short Course, 6).

CARR, M.; GARDNER, M. H. Portrait of a basin-floor fan for sandy deepwater systems, Permian lower brushy canyon formation, west Texas. In: BOUMA, A. H.; STONE, C. G. (Ed.). **Fine-grained Turbidite system.** Tulsa: American Association of Petroleum Geologists: Society for Sedimentary Geology, 2000. 215 p. (AAPG Memoir, 72); (SEPM. Special Publication, 69).

CLARK, J. D.; PICKERING, K. T. **Submarine channels:** processes and architecture. London; Vallis Press, 1996. 231 p.

DUTRA, E. B. Reconhecimento topográfico e geológico no estado de Santa Catarina. **Boletim [DNPM/SGM]**, n. 21, 1926, p. 31-56.

FONSECA, M. M. **Sistemas deposicionais e estratigrafia de seqüências da Bacia do Itajaí (SC) e detalhamento do complexo turbidítico de Apiúna.** 2004. 149 p. Tese (Doutorado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2004.

MACEDO, M. H. F. **Les systmes isotopiques Rb-Sr et K-Ar dans les argiles extraits de sédiments carbonatés:** application à la datation du protérozoïque sédimentaire du Brésil dans les états de Bahia et Santa Catarina. 1982. 119 p. Tese (Doutorado) – Universidade Louis Pasteur, Strasbourg, 1982.

MACEDO, M. H. F.; BASEI, M. A. S.; BONHOMME, M.; KAWASHITA, K. Dados geocronológicos referentes às rochas metassedimentares do Grupo Itajaí (SC). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 30-34, 1984.

MANTOVANI, M. S. M.; SHUKOWSKY, W.; BASEI, M. A. S.; VASCONCELLOS, A. C. B. C. Modelo

gravimétrico das principais descontinuidades crustais nos terrenos pré-cambrianos dos estados do Paraná e de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 367-374, 1989.

MUTTI, E. **Turbidite sandstones**. Parma: Università di Parma. Istituto di Geologia; Milão: Agip, 1992. 275 p.

MUTTI, E. Turbidity systems and their relations to depositional sequence. In: ZUFFA, G. G. (Ed.). **Provenance of Arenites**: NATO-ASI series. Dordrecht: D. Riedel, 1985. p. 65-93.

MUTTI, E.; NORMARK, W. R. An Integrated Approach to the Study of Turbidite Systems. In: WEIMER, P.; LINK, H. (Ed.). **Seismic facies and sedimentary processes of submarine fans and turbidite systems**. New York: Springer, 1991. p. 75-106.

MUTTI, E.; NORMARK, W. R. Comparig examples of modern and ancient turbidite systems: problems and concepts. LEGGET, J. K.; ZUFFA, G. G. (Ed.). **Marine clastic sedimentology**: concepts and case studies. London: Graham & Trotman, 1987. p. 1-38.

MUTTI, E.; RICCI-LUCCHI, F. Le torbiditi dell'Appennino settentrionale: introduzione all'analisi di facies. **Memorie della Società Geologica Italiana**, Roma, v. 11, p. 161-199, 1972.

MUTTI E.; SEGURET, M.; SGAVETTI, M. Sedimentation and deformation in the tertiary sequences of the southern Pyrenees. In: AAPG MEDITERRANEAN BASIN CONFERENCE, Field Trip 7, 1988, Nice. **Special Publication of the Institute of Geology of the University of Parma**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1988. p. 1-153.

MUTTI, E.; TINTERRI, R.; REMACHA, E.; MAVILLA, N.; ANGELLA, S.; FAVA, L. **An introduction to the analysis of ancient turbidite basins from an outcrop perspective**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1999. 61 p. (AAPG Education course Note Series, 39).

RIGON, F. C. **Petrologia e proveniência dos arenitos turbidíticos da bacia do Itajaí**. 1983. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1983.

ROSTIROLLA, S. P. **Tectônica e sedimentação da Bacia do Itajaí, SC**, 1991, 132 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1991.

ROSTIROLLA, S. P.; ALKMIM F. F.; SOARES, P. O. O Grupo Itajaí, SC, Brasil: exemplo de sedimentação em uma bacia flexural de antepaís. **Boletim de Geociência da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 3/4, 1992, p. 109-122.

ROSTIROLLA, S. P.; FIGUEIRA, E. G. **Mapa geológico do Complexo Turbidítico de Apiúna, Grupo Itajaí – SC**. Rio de Janeiro: Petrobras. Cenpes; Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1995. 14 p.

VAIL, P. R.; AUDEMARD, F.; BOWMAN, S. A.; EISNER, P. N.; PEREZ-CRUZ, C. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology- an overview. In: EINSELE, G.; RICKEN, W.; SEILACHER, A. (Ed.). **Cycles and Events in Stratigraphy**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. p. 39-47.

VAN WAGONER, J. C.; MITCHUM, R. M.; CAMPION, K. M.; RAHMANIAN, V. D. **Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops**: concepts of high-resolution correlation of time and facies, 1990. 55 p. (AAPG. Methods in Exploration Series, 7).

VAN WAGONER, J. C.; POSAMENTIER, H. W.; MITCHUM JR., R. M.; VAIL, P. R.; SARG, J. F.; LOUITT, T. S.; HARDENBOL, J. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: WILGUS, C. K.; HASTINGS, B. S.; KENDALL, C. G. S. C.; POSAMENTIER H. W.; ROSS, VAN WAGONER, C. A.; J. C. (Ed.). **Sea-level changes: an integrated approach**. 1988. p. 39-46. (SEPM Special Publication, 42).

bibliografia

WALKER, R. G.; JAMES, N. P. Facies: facies models and modern stratigraphic concepts. In: WALKER, R. G.; JAMES, N. P. (Ed.). **Facies models**: response to sea level change. Stittsville: Geological Association of Canada, 1994. p. 1-14.

expanded abstract

As fields are developed, reservoir properties such as thickness, area, porosity, permeability and heterogeneity in different scales determine the space, the number, the orientation and the operational function of the wells. At the early stages of field development, there are commonly many uncertainties associated with the geological model, due to the limited amount of data available directly from the new petroleum field. Thus, it is appropriate to supplement the subsurface data with geological information obtained from analog outcrops. Such method has been used in many hydrocarbon fields around the world.

With the advent of 3D model technology and the need to improve reservoir simulation procedures, it has become necessary that geological models satisfy not only qualitative geological aspects but also include a quantitative assessment of reservoir property distributions. Outcrop analogs can be used to refine both aspects of subsurface 3D models. This work aims at producing three-dimensional outcrop models, so that they can be used to complete morphological (sedimentological and stratigraphic) and petrophysical reservoir parameters of deep-water systems, in order to improve the subsurface models.

According to current statistical data, the majority of the yet unexplored and of the already known Brazilian petroleum reserves occur in reservoirs formed by deep-water sediment-gravity flows. Hence the choice of turbidite deposits in this study.

The Apiúna 1 and Apiúna 2 outcrops, the targets of this research, are located in the Itajai Basin, in Santa Catarina State. This area has preserved the records of a basin that was formed during the locking up of a collisional belt in the Santa Catarina east shield. The basin is filled with metasediments that crop out in the Itajai river valley, and is divided into two sequences. The first, older, sequence is named Gaspar Sequence (Appi, 1991). It is composed, from bottom to top, by a succession of polymitic unstratified or faintly laminated conglomerates, cross-stratified coarse-grained sandstones and sigmoidal stratified fine-grained sandstones which represent a transgressive succession of alluvial fan to deltaic systems; overlain by sandstones and shales showing hummocky structures representing shelf deposits. The

second, upper sequence, is named Garcia Sequence, which is separated from the lower one by an unconformity interpreted as type one unconformity of Van Wagoner et al. (1988). This sequence shows an overall regressive pattern consisting formed of diamictites, sandstones and conglomerates with graded beds consisting of unstratified sandstones, sandstones with the Bouma sequence and shales that represent a turbidite system; sandstones and shales with ripple marks and dark shales that represent a shelf system; and conglomerates and sandstones with cross-stratification and sigmoidal stratification that represent a fan-deltaic system.

Using the GOCAD™ computer software, it was possible to construct a three-dimension model of lobes and channels by integrating (1) sedimentological field studies, (2) detailed analysis of outcrop photopanels and (3) turbidite system descriptions found in the literature. As a result of this research it was possible to construct a set of numerical models representing part of the Apiúna turbidite system (channels and lobes) in three-dimensions, extrapolating 2D information based on conceptual models defined in the geological literature. After populating the models with petrophysical parameters, these results can be useful in further studies like, for instance, flow simulation.