

Arquitetura de fácies e evolução estratigráfica dos reservatórios flúvio-deltaicos da Formação Echinocyamus (Eoceno Inferior) na área do Lote 10 (Bacia de Talara, Noroeste do Peru)

Facies architecture and stratigraphical evolution of fluvio-deltaic reservoirs of the Echinocyamus Formation (Lower Eocene) in the Block 10 area (Talara Basin, Northwestern Peru)

José Alfredo Borges Daudt | Claiton Marlon dos Santos Scherer

resumo

Este artigo descreve a arquitetura de fácies da unidade reservatório Formação Echinocyamus, Eoceno Inferior da Bacia de Talara (Noroeste do Peru), apresentando um modelo estratigráfico evolutivo para a seção estudada. Este estudo constitui um passo inicial na caracterização estática desta unidade, com o objetivo de melhorar o conhecimento das heterogeneidades internas do reservatório, reduzindo as incertezas no gerenciamento de projetos de recuperação avançada de petróleo.

A integração das descrições de testemunho (fácies e associação de fácies deposicionais) com a análise de perfis elétricos (padrão das curvas) permitiu a interpretação de dois domínios deposicionais marcadamente diferentes: a) uma porção inferior, caracteristicamente deltaica, onde se desenvolveram paraseqüências e grupos de paraseqüências progracionais em trato de mar alto e b) uma porção superior, dominada por depósitos fluviais em trato de mar baixo. Posteriormente,

o sistema deltaico volta a recorrer, associado a um intervalo transgressivo sobre o sistema fluvial.

Foram identificadas superfícies com caráter estratigráfico regional que potencialmente se constituem em barreiras verticais de fluxo, delimitando diferentes compartimentos nesta unidade: a) limites de paraseqüências ou grupos de paraseqüências, b) limite de seqüência que antecede os depósitos fluviais, c) superfície transgressiva que marca o início da ocorrência de um sistema deltaico retrogradacional sobre o fluvial e d) a superfície de máxima inundação.

Assim, foi possível estabelecer uma metodologia-padrão de abordagem que permitirá o mapeamento destes diferentes domínios com base nos estilos das curvas elétricas, resultando em uma melhor previsão dos diferentes intervalos com características permo-porosas particulares.

(originais recebidos em 27.02.2006)

Palavras-chave: arquitetura de fácies | estratigrafia | modelo deposicional | Bacia de Talara

abstract

This article describes the facies architecture of the Echinocyamus Formation, Lower Eocene, Talara Basin (Northwestern Peru), presenting an evolutionary stratigraphical model to the studied section. This work is a first step towards the static characterization of this unit with the objective of better understanding the internal heterogeneities of this reservoir, thus reducing uncertainties in enhanced recovery projects management.

By integrating the core description (facies and facies associations) with the analysis of electrical logs (curve patterns) two different depositional domains were interpreted: a) a lower interval, deltaic prone, where parasequences and parasequence sets were developed during a highstand systems tract; and b) an upper interval, fluvial-dominated, developed during a lowstand systems tract. Later, the deltaic domain reappears as a transgressive interval over the fluvial system.

Four fourth-order kinds of stratigraphical surfaces were identified; which at least potentially may be vertical flow barriers: a) parasequence or parasequence sets boundaries, b) sequence boundary that preceded the fluvial system, c) transgressive surface that marks the beginning of the deltaic transgression on the fluvial deposits and d) the maximum flooding surface.

With this work, it was possible to establish a stratigraphically-controlled interpretation following a methodology that will allow these different domains to be mapped based on the electrical curves patterns, resulting in a better prediction of intervals with specific permeability and porosity characteristics.

(expanded abstract available at the end of the paper)

Keywords: *facies architecture | stratigraphy | depositional model | Talara Basin*

introdução

A Formação Echinocyamus representa uma importante unidade produtiva na Bacia de Talara, Noroeste do Peru (fig. 1). Entretanto, estes reservatórios apresentam características permeoporosas pobres, fato que resulta em uma baixa eficiência no fator de recuperação de petróleo. De acordo com estimativas, somente de 12% a

16% do volume original de óleo *in place* (VOOIP) é efetivamente recuperado por produção primária nesta unidade. Considerando este cenário, a Petrobras Energia iniciou uma forte campanha de estudos para viabilizar e/ou otimizar a implementação de projetos de recuperação secundária no Lote 10, área sob concessão da empresa. A previsão é que estes projetos resultem em um incremento no fator de recuperação da ordem de 4% a 8% (Groba *et al.* 2005). Entre os objetivos destes estudos também está a proposição de perfuração de novos poços para conectar volumes de hidrocarbonetos não drenados pelas campanhas passadas. Como consequência, aparece a necessidade de melhor caracterização destes reservatórios, com o objetivo de melhor se entender as heterogeneidades deposicionais e a complexidade estratigráfica que afeta a conectividade dos corpos arenosos na escala entre poços.

O objetivo deste artigo é apresentar a descrição da arquitetura e sucessão das fácies deposicionais, além do modelo estratigráfico evolutivo para esta unidade. A metodologia utilizada inclui a revisão dos dados disponíveis, enfocando a análise de testemunhos e interpretação do padrão dos perfis elétricos. A identificação de superfícies-chaves (por exemplo: superfícies de inundação, limites de seqüência etc) dentro de um arcabouço de estratigrafia de seqüências de alta resolução foi também de grande utilidade para o entendimento da evolução e complexidade deposicional. Evidentemente, o enfoque utilizado resultou em um modelo estratigráfico de compartimentação que é diferente da tradicional litoestratigrafia.

A modelagem de reservatórios com base em abordagens semelhantes é, segundo Bashore *et al.* (1994), a melhor maneira para se criar uma base sólida para a simulação de fluxo. Estes modelos mais robustos certamente reduzem os riscos de eventuais equívocos na correlação de diferentes unidades genéticas, aumentando a capacidade preditiva com relação à extensão e à arquitetura do reservatório (Eschard *et al.* 1998), além da distribuição espacial das propriedades petrofísicas. Estes fatores influenciam fortemente o fluxo de fluidos dentro do meio poroso,

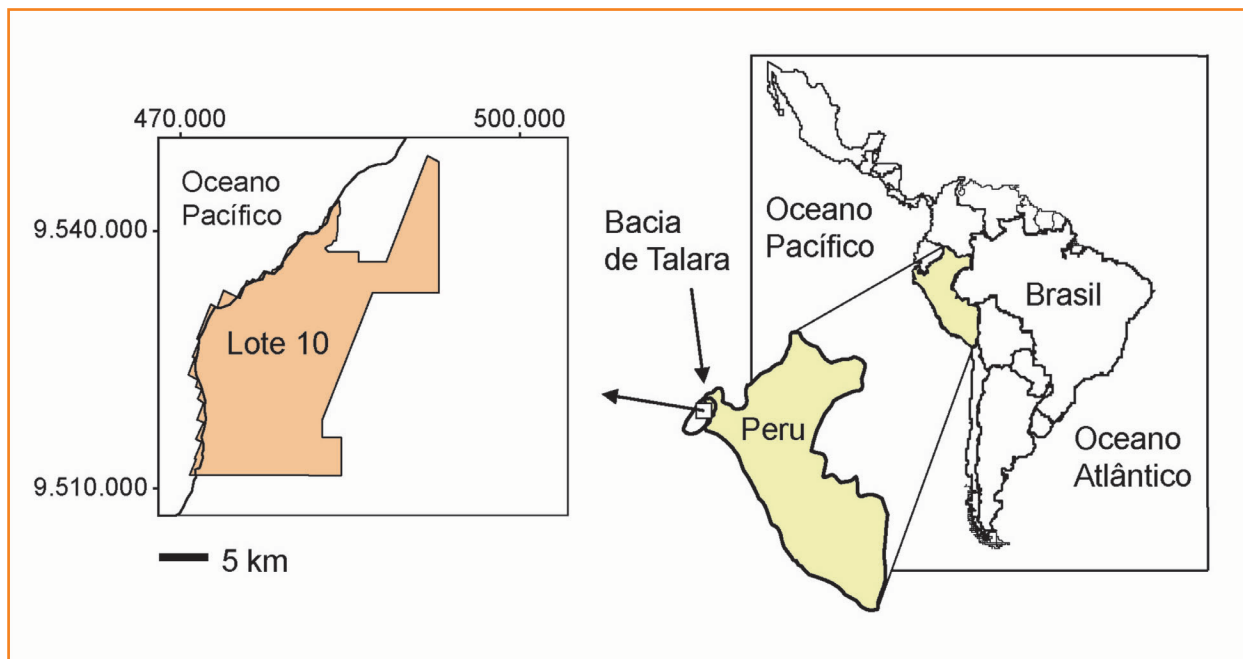


Figura 1

Mapa de localização da Bacia de Talara e da área do Lote 10. Escala gráfica, coordenadas referenciadas ao sistema PSAD 56.

Figure 1

Location map of Talara Basin and Block 10 area. Graphic Scale, coordinates with reference to PSAD 56.

impactando, por conseqüência, o fator de recuperação final de petróleo (Hamlin *et al.* 1996; Ramón e Cross, 1997). Outros parâmetros que podem afetar o fluxo de fluidos dentro do reservatório, como diagênese e compartimentações estruturais de pequena escala, estão além do objetivo deste estudo. A influência da diagênese, por exemplo, em cada unidade deposicional (genética), com controle estratigráfico ou não, deverá ser avaliada nas próximas etapas deste projeto.

geologia regional

A Bacia de Talara é originada pelo processo de subducção da placa oceânica de Nazca sob a placa continental da América do Sul. O principal sítio deposicional está localizado em uma posição entre o arco magmático (representado pelo Cinturão Andino) e o complexo de subducção, caracterizando, desta maneira, uma típica bacia de ante-arco (de acordo com Dickinson e Seely, 1979). Localmente, o Cinturão Andino está representado pela Cordilheira Real, estrutura de conexão entre a parte norte e central dos Andes (Fildani, 2004), um significativo elemento que marca a mudança na tendência do alinhamento regional (Mourier *et al.* 1988) e que acompanha,

de certa forma, a megaestrutura tipo transformante conhecida como Falha de Dolores - Guaiaquil. Desta forma, Talara encontra-se limitada pela zona de subducção Peruana - Chilena (em direção a oeste), o Alto de Zorritos (uma intrusão granítica localizada ao norte, provavelmente resultante da movimentação transformante da Falha de Dolores - Guaiaquil), um terreno alóctone paleozóico (a cadeia Amotape, em direção leste, um elemento que separa a Bacia de Talara da Bacia de Lancones) e a Silla de Paita (Alto de Paita, Fildani *et al.* 2005) na direção sul. Segundo Carozzi e Palomino (1993), os limites de Talara são, até certo ponto, especulativos porque a dimensão precisa da bacia é difícil de se estabelecer.

Apesar da regra geral de que bacias de ante-arco têm restrito potencial para hidrocarbonetos, Talara tem demonstrado exatamente o contrário, sendo uma das mais prolíferas bacias petrolíferas do mundo, em uma história de sucesso de mais de 100 anos. Além disto, a predominância de tectônica extensional sobre uma esperada atividade compressiva, que tipicamente seria o lógico em uma bacia deste tipo, é outra intrigante característica deste complexo ambiente. Carozzi e Palomino (1993) argumentam que a localização de Talara, na intersecção do aulacógeno Amazônico, o Cinturão Orogênico Andino e a zona de subducção Peruana-Chilena, pode ser uma das

explicações para este conjunto de características peculiares que também incluem um gradiente geotermal relativamente alto e o predomínio de matéria orgânica marinha na composição do petróleo produzido.

O preenchimento sedimentar da Bacia de Talará compreende uma série de depósitos que vão desde o Cretáceo até o Oligoceno, com compartimentações estruturais por falhas transcorrentes de direção geral noroeste (Tankard, 2002). Durante o Cretáceo, foram desenvolvidas sub-bacias localizadas que permitiram a deposição, em caráter restrito, da matéria orgânica correspondente às formações Muerto e Redondo. No Terciário, sedimentos clásticos chegam a acumular até 9 000 m de espessura, depositando-se nos principais depocentros controlados tectonicamente. Geração a partir de rochas pelíticas do Oligoceno também foram interpretadas por Fildani *et al.* (2005), considerando um processo de ressurgência costeiro.

A Formação Echinocyamus, objeto deste estudo, representa uma série de unidades deltaicas e fluviais depositadas durante o Eoceno Inferior (Ypresiano - Lutetiano), totalizando uma espessura máxima de até 400 m na área estudada. Este sistema evoluiu no sentido leste para oeste em uma tendência de preenchimento transversal ao maior eixo da bacia (Carozzi e Palomino, 1993). O aporte sedimentar foi provavelmente originado na cadeia de montanhas de Amotape, localizada a leste (Daudt *et al.* 2004).

Os depósitos desta unidade fazem parte de um megaciclo regressivo que começou durante o Paleoceno - Eoceno, terminando aproximadamente durante o Eoceno Médio. Este final é marcado por uma abrupta subsidência na área estudada, coincidindo, em linhas gerais, com o topo da Formação Echinocyamus. Este evento, de caráter eminentemente tectônico, é correlacionado com uma das mais importantes fases de deformação do ciclo Andino, a fase Incaica (Steinmann, 1929; Pindell e Tabbutt, 1995). Após este evento, condições de águas profundas foram estabelecidas, especialmente na área do Lote 10, permitindo a deposição de espessos pacotes de depósitos turbidíticos.

Em termos de litoestratigrafia, a Formação Echinocyamus é composta por cinco membros.

Da base para o topo, membros Cabo Blanco, Verde, Somatito Inferior, Somatito Superior e Constancia. Em algumas áreas, um sexto membro é reconhecido, denominado de Ballena. Estas unidades foram depositadas sobre os folhelhos de caráter marinho marginal (A. Fildani, comunicação pessoal) da Formação Clavel. Pozo (2002) apresentou uma revisão completa das informações bioestratigráficas disponíveis no Lote 10. De acordo com aquele autor, embora exista certa dispersão nos dados, a Formação Echinocyamus foi depositada em um intervalo de tempo aproximado de 1,2 Ma.

dados utilizados

Um dos objetivos deste estudo foi buscar a integração das informações disponíveis em sub-superfície, incluindo aqui os testemunhos convencionais e os perfis elétricos. Doze poços foram testemunhados no intervalo de interesse, mas nem todos resultaram em um fator de recuperação apreciável. Dentro deste universo, foram selecionados sete poços para o estudo, levando-se em conta a importância de cada poço com relação à continuidade do intervalo recuperado. Isto resultou em um total descrito de aproximadamente 400 m de rocha.

Com relação aos perfis elétricos, o Lote 10 conta com cerca de 4 900 poços perfurados. Um bom número destes é possuidor da suíte convencional de perfis (raios gama, potencial espontâneo, resistividade rasa e profunda).

sedimentologia

A seguir, serão descritas as fácies deposicionais que foram identificadas nos testemunhos selecionados, considerando-se a nomenclatura tradicional proposta nos trabalhos de Miall (1985; 1996). Com base nestas descrições, foi possível gerar um modelo de associação de fácies que melhor representasse a unidade estudada. Esta interpretação, por sua vez, serve de base para o modelo estratigráfico de subambientes de deposição, que será discutido adiante.

caracterização das fácies

fácies Ac: arenitos com estratificação cruzada acanalada (fig. 2)

Arenito fino a muito grosso, algumas vezes conglomerático, com estratificação cruzada acanalada, dispostos em sets que variam de 10 cm a 25 cm. Ocasionalmente pode conter grânulos e seixos de quartzo, fragmentos de rochas ígneas (fig. 3), fragmentos de plantas e provavelmente carvão, dispostos nos planos de estratificação ou formando *lags* na base dos sets.

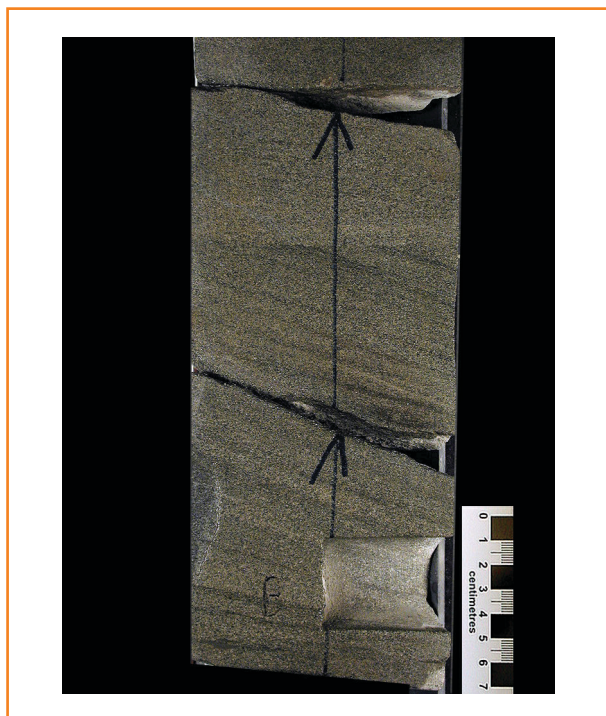


Figura 2 – Arenito com estratificação cruzada acanalada, Fácies Ac, granulometria média. A estratificação, neste caso, é marcada por pequenos fragmentos de intraclastos de pelitos.

Figure 2 – Trough cross-bedded sandstone, Facies Ac, medium grained. The stratification, in this case, is marked by small fragments of shale intraclasts.

Esta litofácies representa depósitos residuais de formas de leito de crista sinuosa (dunas 3D) em condições de regime de fluxo inferior (Collinson, 1996; Leeder, 1999). A composição dos clastos e seixos é indicativa de relativa proximidade da área-fonte.



Figura 3 – Arenito com estratificação cruzada acanalada, Fácies Ac, granulometria muito grossa. Composição dos clastos bastante variável incluindo quartzo, pelitos e fragmentos líticos.

Figure 3 – Trough cross-bedded sandstone, Facies Ac, very coarse grained. Clast composition is quite variable including quartz, shale and lithic fragments.

fácies Am: arenitos maciços (fig. 4)

Arenitos finos a grossos, moderadamente selecionados, apresentando, por vezes, intraclastos de pelitos (com até 10 cm de diâmetro) e, mais raramente, grânulos e seixos de quartzo e fragmentos de plantas superiores. Material de composição bioclástica (pedaços de conchas) ocasionalmente presente.

Embora esta litofácies mostre uma aparência maciça, é relativamente comum a identificação de pequenas estruturas em prato, algumas vezes similares a bioturbações incipientes.

Arenitos maciços são interpretados como o resultado de deposição em massa (*en masse*), associados à rápida desaceleração de fluxos hiperconcentrados (Miall, 1996). As estruturas de escape de fluido seriam formadas durante os estágios finais de deposição (Lowe, 1982) e a presença de intraclastos de folhelhos indicaria o comportamento turbulento e erosivo da porção basal do fluxo.

Figura 4

Arenitos maciços, Fácies Am, granulometria média a grossa, raros intraclastos de pelitos.

Figure 4

Structureless sandstone, Facies Am, medium to coarse grained, rare shale intraclasts.



fácies Ap: arenitos laminados (fig. 5) ou com estratificação plano-paralela

Arenitos muito finos a grossos, com estratificação plano-paralela, dispostos em sets com espessuras de 10 cm a 20 cm que, algumas vezes, apresentam gradação normal. É comum a presença de níveis de intraclastos de pelitos de poucos centímetros de espessura. Estes níveis podem, ocasionalmente, conter diminutos fragmentos de carvão. Frequentemente, esta fácies está em uma associação vertical contínua com a Fácies Ac.

Arenitos com estratificação ou laminação horizontal (ou de partição) são interpretados por Miall (1985; 1988) como resultado de deposição em regime de fluxo superior (fluxos planos), em uma combinação de processos trativos e de decantação a partir de correntes com muita carga suspensa por turbulência.

fácies Ab: arenitos bioturbados (fig. 6)

Arenitos finos a médios, bioturbados, dispostos em pacotes com até 4 m de espessura. Fragmentos bioclásticos são comuns, algumas vezes compondo intervalos de até 10 cm de espessura. O grau de bioturbação é caracterizado

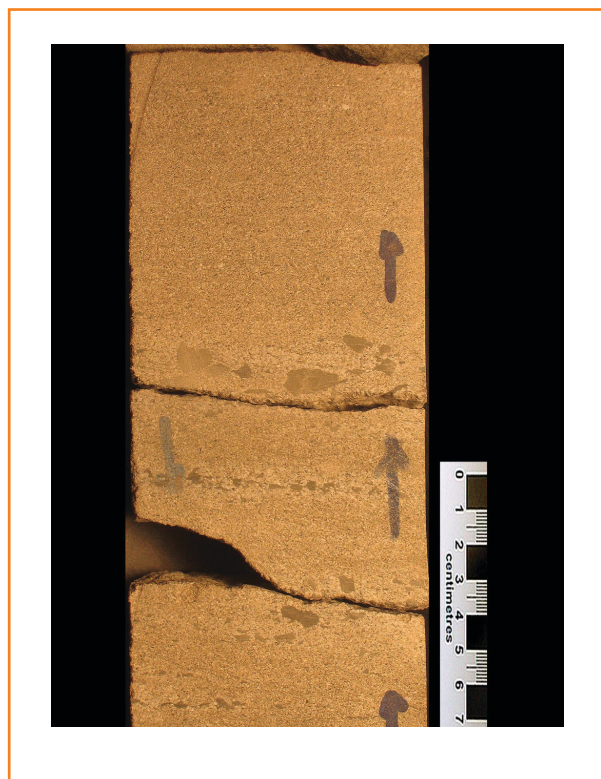


Figura 5 – Arenito com laminação plano-paralela, Fácies Ap, granulometria média a grossa com níveis de intraclastos de pelitos. Normalmente, esta fácies está associada com a Fácies Ac.

Figure 5 – Laminated sandstone, Facies Ap, medium to coarse grained with shale intraclast levels. Normally, this facies is associated with the Ac Facies.

pela alternância de níveis altamente bioturbados com níveis menos bioturbados, variando entre as icnofácies *Cruziana* e *Skolithos*, com baixa diversidade. Entre os traços fósseis verticais mais comuns estão *Ophiomorpha*, *Skolithos* e *Arenicolites* e, entre os horizontais, *Asterosoma*, *Planolites* e *Paleophycos*.

Arenitos bioturbados são interpretados como resultado da ação biogênica sobre sedimentos previamente depositados. As icnofácies *Cruziana* e *Skolithos* são indicativas de condições francamente marinhas e referidas ao nível de energia do ambiente de deposição. Porções relativamente mais distais normalmente mostram um maior grau de perturbação do substrato pela bioturbação predominantemente horizontal, destruindo completamente as estruturas sedimentares (em caso de existência destas) e caracterizando a icnofácies *Cruziana* (menor energia). Quando al-

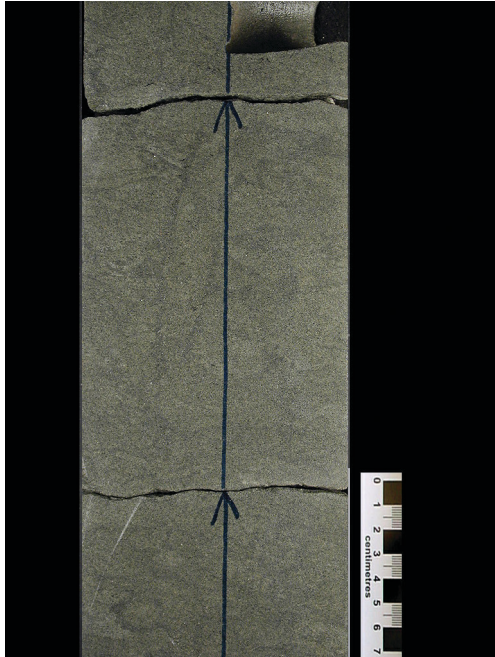


Figura 6 – Arenito bioturbado, Fácies Ab, granulometria média a fina. Neste caso, os icnofósseis mais comuns são *Ophiomorpha* e *Arenicolites*. Interpreta-se como icnofácies *Skolithos*.

Figure 6 – Bioturbated sandstone, Facies Ab, medium to fine grained. In this case, the most common ichnofossils are *Ophiomorpha* and *Arenicolites*. Interpreted as *Skolithos* ichnofacies.

gum resquício de estrutura é preservado e existe um predomínio de bioturbação vertical sobre a horizontal, interpreta-se uma situação de maior energia deposicional, decrescendo a intensidade e diversidade da bioturbação, caracterizando a icnofácies *Skolithos*.

fácies Cm: conglomerados maciços (fig. 7)

Conglomerados sustentados por clastos maciços, ou apresentando, por vezes, laminação horizontal incipiente, dispostos em camadas de até 2 m de espessura. Os clastos são compostos por fragmentos de quartzo, rochas vulcânicas e pelitos, com tamanhos individuais de até 10 cm a 15 cm.

Conglomerados maciços são interpretados como o resultado de correntes de alta densidade, transporte por carga de fundo ou fluxos



Figura 7

Conglomerado maciço, Fácies Cm. Quartzo, rochas vulcânicas e folhelhos estão entre os constituintes mais comuns dos clastos presentes.

Figure 7

Massive, structureless conglomerate, Facies Cm. Quartz, volcanic rock and shale are the most common clast composition.

de detritos pseudo-plásticos, depositados a partir de fluxos laminares viscosos ou turbulentos (Miall, 1988). A presença constante de clastos de pelitos é indicativa do caráter erosivo da base do fluxo (Collinson, 1996).

fácies Ar: arenito com marcas onduladas (fig. 8)

Arenitos de granulometria fina, dispostos em camadas com espessura de 25 cm a 1 m, compostas internamente por laminações cruzadas de marcas onduladas subcríticas a supercríticas. Fragmentos de carvão e intraclastos de folhelho estão ocasionalmente presentes em pequenas proporções, assim como laminações convolutas.

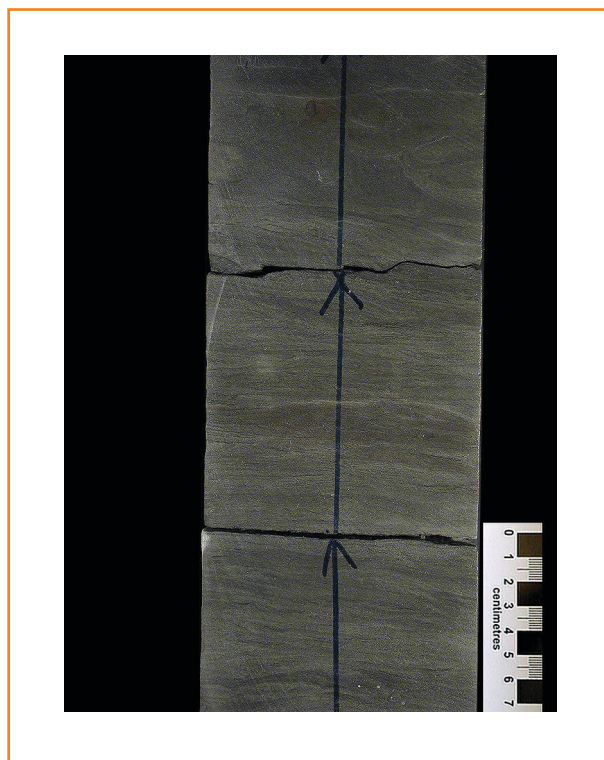
Esta fácies é interpretada como o resultado da migração e cavalgamento de marcas onduladas assimétricas, geradas por processos trativos e de decantação, em um regime de fluxo inferior. As laminações convolutas são geradas pela deformação dúctil dos estratos por fluidização, em situações onde os sedimentos depositados não estão completamente consolidados.

Figura 8

Arenito com marcas onduladas, Fácies Ar, granulometria fina a muito fina.

Figure 8

Rippled sandstone, Facies Ar, fine to very fine grained.



fácies Fm/Fms: pelitos maciços/pelitos com fração síltica

Pelitos maciços, acinzentados, com raros fragmentos de plantas. Ocasionalmente, estas fácies apresentam uma laminação aparente, algumas vezes ondulosa truncada, especialmente na fração síltica (Fácies Fms). Feições deformacionais, como convolutas e estruturas em chama, estão esporadicamente presentes.

Os pelitos maciços são interpretados como decorrentes do assentamento gravitacional de partículas em suspensão, em um contexto de baixa energia. As estruturas deformativas indicam situações de substrato não totalmente consolidado.

associação de fácies e subambientes de deposição

O conceito de elemento arquitetural (introduzido por Allen, 1983, e revitalizado por Miall em 1985; 1988; 1996) foi muito importante para o desenvolvimento de um novo método de análise de arquitetura de fácies. Entretanto, estes conceitos são baseados nas associações tridimensionais de fácies e, como a abordagem aqui

está baseada somente em testemunhos e perfis elétricos, é preferível fazer referência a estas associações como **Associação Maior de Fácies** (AMF, ou o correspondente em língua inglesa, *Major Facies Associations*, no sentido proposto por Begg *et al.* 1996). Uma AMF não representa diretamente um elemento arquitetural mas uma associação de fácies típica de uma posição específica no ambiente deposicional. Um sumário das associações de fácies para cada subambiente ou AMF pode ser visualizado na tabela I.

AMF de pró-delta

Esta AMF mostra um forte predomínio das fácies Fm, Fms e Ab, com presença subordinada das fácies Ar e Ap. As fácies Ab e Ap são relativamente mais finas que as correspondentes identificadas na AMF de frente deltaica. Normalmente, esta AMF mostra-se pouco a medianamente bioturbada. Em testemunhos onde a influência de organismos foi identificada a associação de icnofósseis sugere a icnofácies *Cruziana*, com predomínio de bioturbação horizontal.

AMF de frente deltaica

Esta associação normalmente sucede a AMF de pró-delta e mostra um predomínio claro das fácies Ab e Ar sobre as outras (fig. 9). As fácies Ac e Am são muito menos importantes em termos de proporções e normalmente são de granulometria mais fina do que as mesmas fácies identificadas na AMF fluvial - planície deltaica.

Não existe uma clara ciclicidade na sucessão vertical destas fácies, mesmo quando se analisa a sucessão de icnofácies (*Skolithos* e *Cruziana*), embora, algumas vezes, exista a sugestão de que ocorre um decréscimo de intensidade de bioturbação em direção ao topo. Se isto é verdade, corroboraria a interpretação da existência de ciclos prográdantes de alta freqüência nesta AMF.

Dados petrofísicos escassos sugerem que, dentro de uma mesma sucessão vertical de fácies, a porosidade incrementa para o topo (fig. 9). A permeabilidade, ao contrário, não mostra o mesmo padrão, o que pode indicar algum controle diagenético. Em geral, as porosidades variam de 3,3% a um máximo de 25% e as permeabilidades de 0,002 mD até 120 mD.

Níveis de fragmentos de conchas e intervalos centimétricos de coquinas, resultado da deposição de materiais bioclásticos de diferentes composições, aparecem, esporadicamente, completamente cimentados por calcita. Fragmentos de plantas de diferentes tamanhos são muito comuns, representando o aporte continental constante.

fluvial - planície deltaica

Normalmente, esta AMF é encontrada em ciclos compostos pelas seguintes sucessões de fácies (da base para o topo): Cm + Ac + Ap + Am (fig. 10); Ac + Ap + Am; Ac + Am e, mais

Domínio Depositional (Depositional Domain)	Subambiente (Sub-environment)	Fácies Associadas (Facies Associations)
FLUVIAL	Fluvial Indiferenciado (reservatório + Planície de inundação)	Cm / Ap / Ac / Am / Fm Ciclos: Cm+Ac+Ap+Am; Ac+Ap+Am; Ac+Ap
	Planície Deltaica	Cm / Ap / Ac / Am / Fm (difícil diferenciar da AMF Fluvial)
DELTAICO	Frente Deltaica	Ab / Ar (subordinado: Ap / Fm / Ac / Am)
	Pró-delta	Fm / Fms / Ab (subordinado: Ar / Ap)

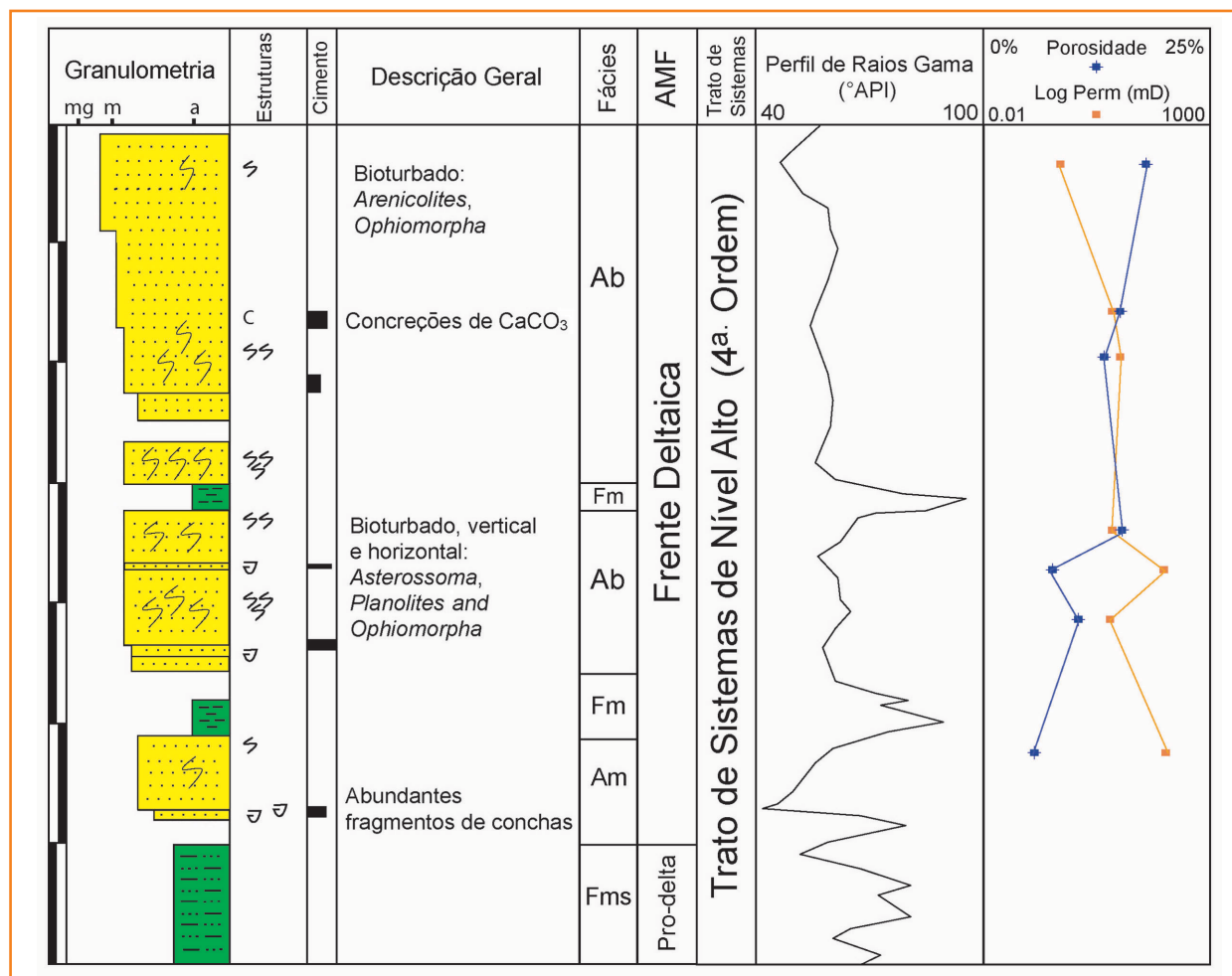


Tabela I

Sumário das associações de fácies para cada domínio deposicional e/ou subambiente de deposição.

Table I

Summary of the facies associations for each depositional domain and/or sub-environment of deposition.

Figura 9 – Exemplo de associação de fácies de frente deltaica, com predominância da Fácies Ab (arenito bioturbado) sobre as demais. A distribuição granulométrica mostra um padrão de aumento do tamanho de grão em direção ao topo (granocrescência ascendente). A porosidade aumenta para o topo, mas a permeabilidade não mostra claramente o mesmo padrão. Escala vertical: cada segmento corresponde a 2 m. Tamanho de grão: aumenta para a esquerda, mg: muito grosso, m: médio, a: argila.

Figure 9 – Example of delta front facies association, with predominance of Ab (sandstone, bioturbated) facies over the others. Grain size distribution shows a coarsening upward motif. Porosity increases upward in the parasequence but permeability clearly does not show the same pattern. Vertical scale: each segment corresponds to 2 m. Grain size: increase toward the left - mg: very coarse; m: medium; a: clay.

raramente, Ac + Ap. Poucos ciclos apresentam as fácies Fm na parte superior, sugerindo que os sedimentos finos não foram depositados ou foram erodidos pelos ciclos subseqüentes. Todas estas observações sugerem que, em alguns intervalos, feições de corte e preenchimento causadas por erosão, passagem de sedimentos e deposição são as razões para o aparecimento de ciclos incompletos. Esta última interpretação é corroborada pela presença de bases erosivas que são observadas em alguns ciclos de granodrecrescência ascendente. Quando completos, os ciclos individuais podem atingir um máximo de 10 m de espessura. Entretanto, os ciclos incompletos,

mais comuns em ocorrência, possuem entre 2 m e 4 m de espessura. Esta associação de fácies ocorre em dois contextos distintos: (a) como complexos amalgamados, formando um pacote de até 25 m de espessura, posicionados na porção superior do intervalo analisado ou (b) como pacotes delgados (máximo de 2 m), que ocorrem sobrepostos aos depósitos da AMF de frente deltaica, dominantes na porção inferior do intervalo estudado.

Com relação aos dados petrofísicos, os intervalos com maior influência fluvial mostram um comportamento relativamente homogêneo, sem tendências evidentes, como pode ser visto na fi-

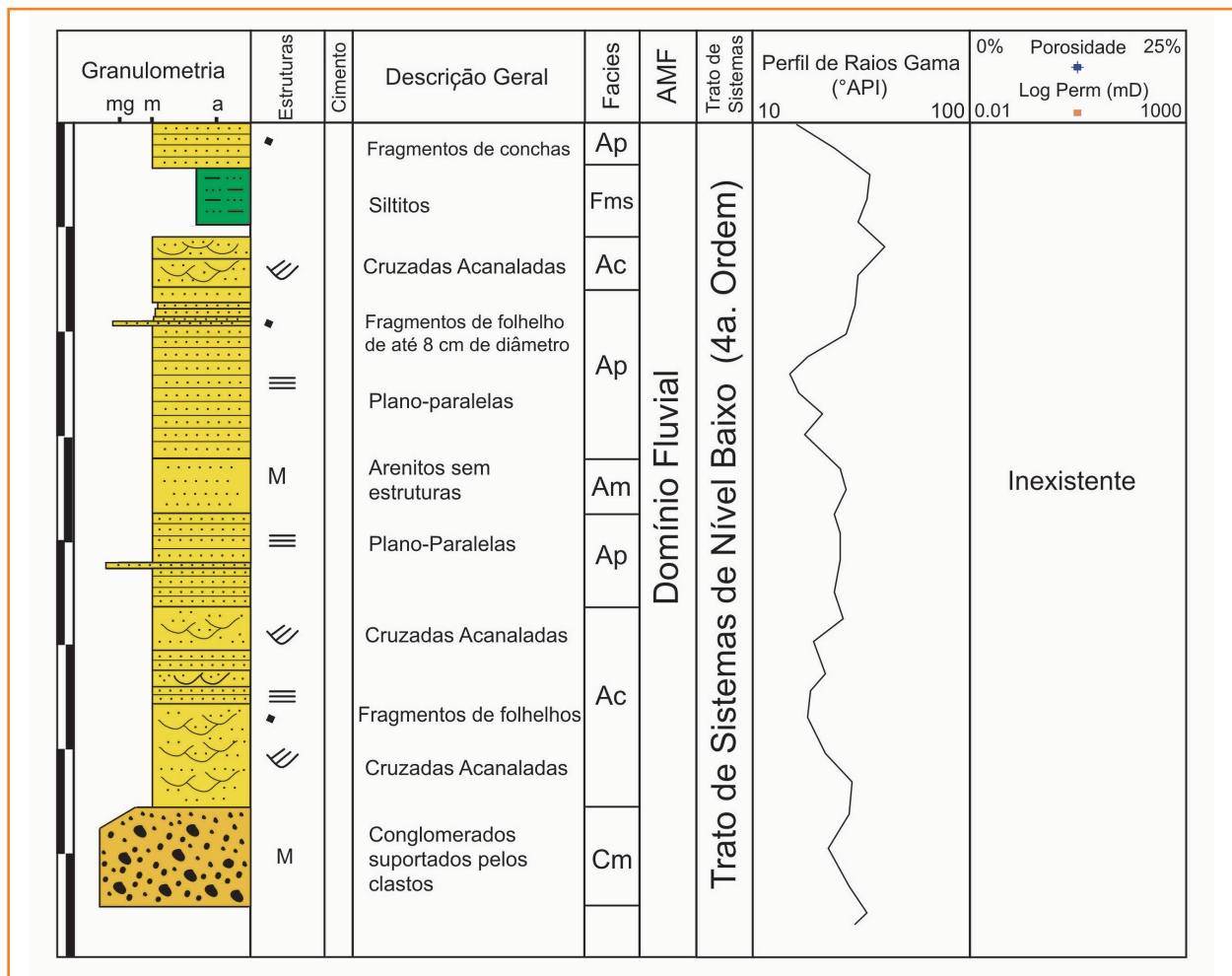


Figura 10 – Exemplo de associação de fácies do domínio fluvial com ciclo completo de Cm+Ac+Ap+Am (da base para o topo). Obs: este poço não dispõe de informação petrofísica. Escala vertical: cada segmento corresponde a 2 m. Tamanho de grão: aumenta para a esquerda, mg: muito grosso, m: médio, a: argila.

Figure 10 – Example of fluvial domain facies association, with completed cycles of Cm+Ac+Ap+Am (from base to top). Obs: this well does not have petrophysical information. Vertical scale: each segment corresponds to 2 m. Grain size: increase toward the left - mg: very coarse; m: medium; a: clay.

gura 11. Entretanto, mesmo se considerando esta aparente homogeneidade, observa-se uma ampla variação nos valores de permeabilidade, de 0,0027 mD a 134 mD, enquanto a média de porosidade é de 12% (variando de 3% a um máximo de 25%).

A presença de superfícies erosivas limitando os ciclos, associadas à ocorrência de arenitos com grânulos, moderadamente selecionados, com estratificação cruzada e laminações plano-paralelas, permite interpretar esta associação de fácies como depósitos de canais fluviais. O predomínio de arenitos grossos em ciclos incompletos com rara preservação dos depósitos de planície de inundação sugere canais fluviais arenosos entrelaçados, de alta energia e relativamente de baixa sinuosidade. Eventos erosivos relacionados com a migração de canais e retrabalhamento de depósitos marginais são interpretados pela presença de clastos de pelitos, fragmentos de plantas e carvão. Os depósitos mais delgados de canais fluviais que ocorrem intercalados com as AMF de frente deltaica na metade inferior da seção analisada sugerem um possível subambiente de planície deltaica. Já os pacotes mais espessos da porção superior indicam um ambiente de planície aluvial composta por uma rede de canais entrelaçados.

cie de inundação sugere canais fluviais arenosos entrelaçados, de alta energia e relativamente de baixa sinuosidade. Eventos erosivos relacionados com a migração de canais e retrabalhamento de depósitos marginais são interpretados pela presença de clastos de pelitos, fragmentos de plantas e carvão. Os depósitos mais delgados de canais fluviais que ocorrem intercalados com as AMF de frente deltaica na metade inferior da seção analisada sugerem um possível subambiente de planície deltaica. Já os pacotes mais espessos da porção superior indicam um ambiente de planície aluvial composta por uma rede de canais entrelaçados.

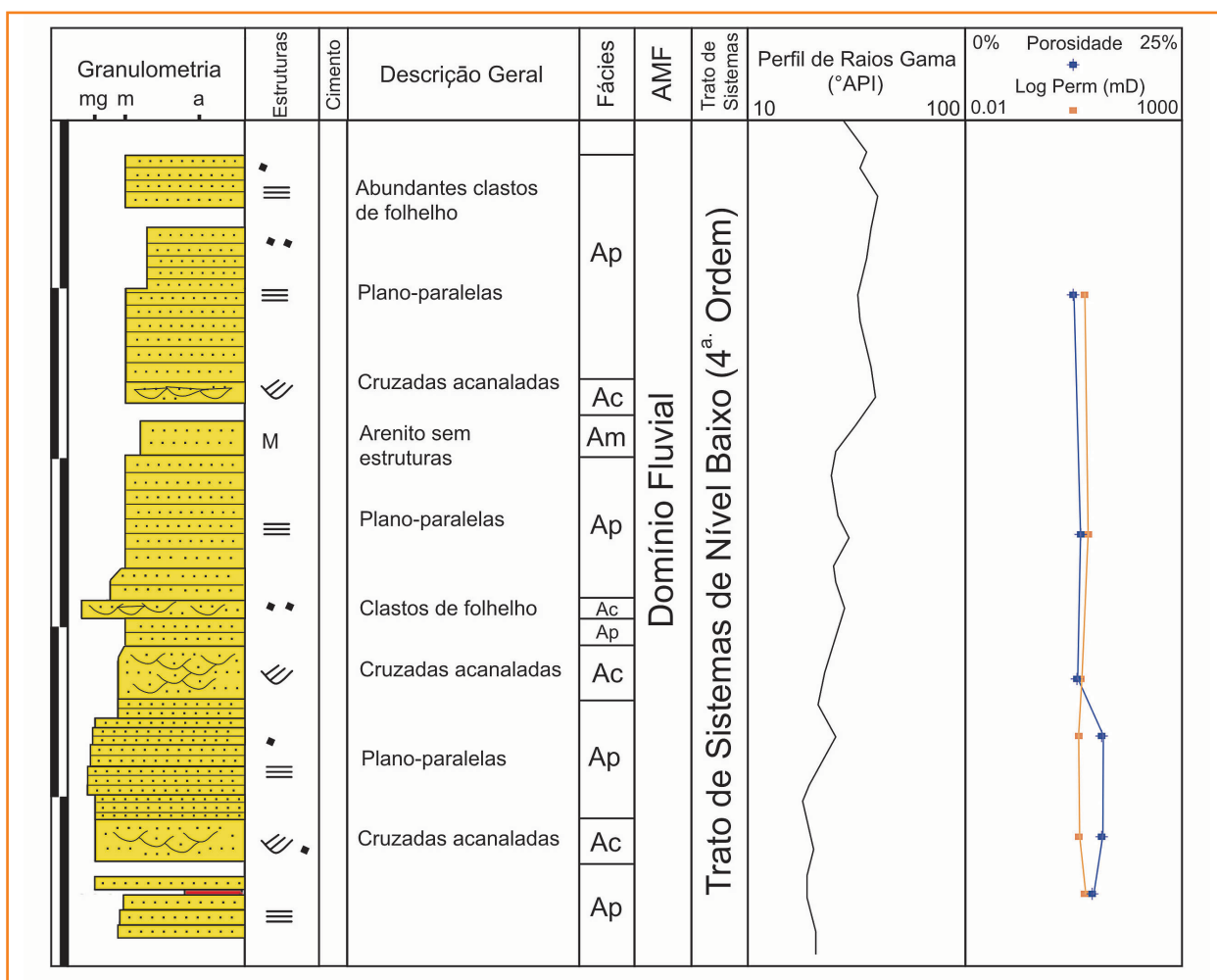


Figura 11 – Associação de fácies fluvial. Ciclos métricos de fácies Ac+Ap+Am são comuns neste domínio, com a presença freqüente de clastos de folhelho indicando erosão e alta energia do fluxo.

Escala vertical: cada segmento corresponde a 2 m.

Tamanho de grão: aumenta para a esquerda, mg: muito grosso, m: médio, a: argila.

Figure 11 – Fluvial facies associations. Metric cycles of Ac+Ap+Am facies are common in this domain, with frequent shale clasts indicating erosion and high energetic behavior of the flow.

Vertical scale: each segment corresponds to 2 m.

Grain size: increase toward the left – mg: very coarse. m: medium; a: clay.

estratigrafia

A integração das descrições das fácies deposicionais, suas associações e o padrão (forma geral) observado nos perfis elétricos disponíveis permitiu a geração de um modelo estratigráfico esquemático que pode ser observado na figura 12. Na mesma figura também pode ser vista uma comparação entre o modelo estratigráfico proposto e a litoestratigrafia tradicional, tendo-se como base um perfil elétrico de um poço testemunhado.

A seguir são descritos os dois domínios deposicionais interpretados e a evolução estratigráfica do intervalo analisado. Blocos-diagramas esquemáticos representando esta evolução podem ser apreciados na figura 13.

domínios deposicionais

domínio deltaico (porção inferior)

Na porção inferior, a arquitetura dos reservatórios da Formação Echinocyamus mostra uma complexa sucessão de ciclos com granocrescência ascendente que, quando analisados individualmente, apresentam variável expressão vertical (de 25 m a 55 m). No entanto, o conjunto de todos estes ciclos mostra espessura relativamente constante na área de estudo (de 120 m a 180 m de espessura, ver seções estratigráficas na figura 14), com leve tendência ao afinamento estratigráfico em direção sul.

A análise dos testemunhos permitiu verificar que esta ciclicidade representa unidades geneti-

Figura 12

Gráfico comparativo entre a litoestratigrafia e este estudo. A litoestratigrafia foi baseada em Pozo (2002). T/R: Ciclos de Transgressão / Regressão. Superfícies importantes: LS (limite de seqüência), ST (superfície transgressiva), SIM (superfície de inundação máxima), lps (limite de parasseqüência). Associação Maior de Fácies: pd (pró-delta), FD (frente deltaica), PD (planície deltaica). Tratos de sistemas: TSNB (trato de sistemas de nível baixo), TST (trato de sistemas transgressivo), TSNA (trato de sistemas de nível alto).

Figure 12

Comparative chart of Lithostratigraphy and this study. The lithostratigraphy is mainly based on Pozo (2002). T/R: Transgressive / Regressive cycles. Significant Surfaces: LS (sequence boundary), ST (transgressive surface), SIM (maximum flooding surface), lps (parasequence boundary). Major Facies Association: pd (prodelta), FD (delta front), PD (delta plain). System Tracts: TSNB (lowstand system tract), TST (transgressive system tract), TSNA (highstand system tract).

Litoestratigrafia	Raios Gama	Ciclos T/R	Superfícies importantes	Contexto Depositional	Tratos de Sist. 4ª Or.	
Fm. Lutitas Talara		??	disc.tect.	Água Profunda	TST/TSNA	
Formação Echinocyamus	Mb. Constancia		SIM	Deltaico	TST	
	Mb. Somatito Superior		ST SB			Fluvial
	Mb. Somatito Inferior		lps	FD pd	Domínio Deltaico Pro-delta (pd), Frente Deltaica (FD) e Planície Deltaica (PD) em apilamento progradacional	TSNA
	Mb. Verde		lps	PD FD pd		
	Mb. Cabo Blanco		lps	FD FD pd		
	Fm. Clavel		lps	PD FD pd		
Fm. Ostrea		lps	PD FD pd			
		SIM	FD pd			

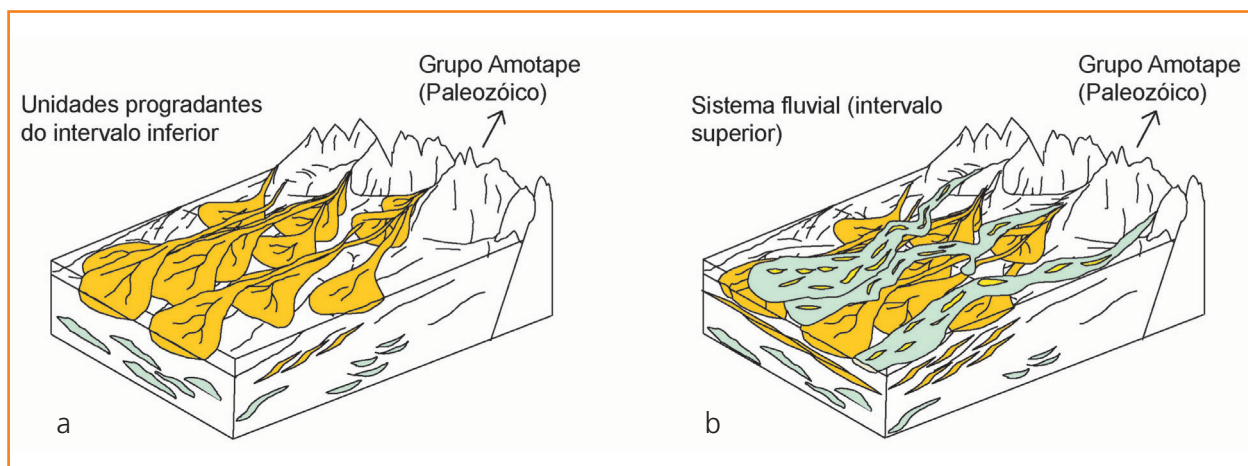


Figura 13

Representação esquemática dos eventos deposicionais relativos aos dois domínios identificados: deltaico (a) e fluvial (b). Sem escala.

Figure 13

Schematic representation of the depositional events related to the two depositional domains: deltaic (a) and the fluvial (b). Not to scale.

camente relacionadas, interpretadas aqui como sucessão de subambientes (AMFs) deltaicos, desde porções distais do pró-delta até porções mais proximais da frente deltaica ou planície deltaica. Estes ciclos, quando analisados conjuntamente, mostram uma leve tendência progradacional, reflexo do caráter progradante de todo o sistema devido à relação positiva (<1) entre o aporte sedimentar e o espaço de acomodação. Os intervalos mais pelíticos que limitam os ciclos foram considerados como **superfícies de inundação marinha** e devem ser correlacionáveis ao menos na extensão de blocos tectonicamente controlados (escala dos jazimentos ou áreas produtivas), constituindo importantes barreiras verticais de fluxo. Ciclos de igual conotação genética foram definidos como **parasseqüências** por Van Wagoner *et al.* (1990).

As parasseqüências mostram, ocasionalmente, contatos superiores do tipo gradual em vez de contatos abruptos como se esperaria para ambientes plataformais não-estuarinos (Van Wagoner *et al.* 1990). Uma hipótese para esta situação é a ocorrência de subsidência local contemporânea à sedimentação, gerando um incremento gradual no espaço de acomodação no momento do evento de inundação marinha. Outra possibilidade a ser avaliada durante a fase de descrição petrográfica seria o aumento do teor de feldspato potássico em direção ao topo da parasseqüência, fato que resultaria em depósitos arenosos mais radioativos perto da superfície superior que limita a parasseqüência. Um fato interessante observado é que a curva de potencial espontâneo (SP), em

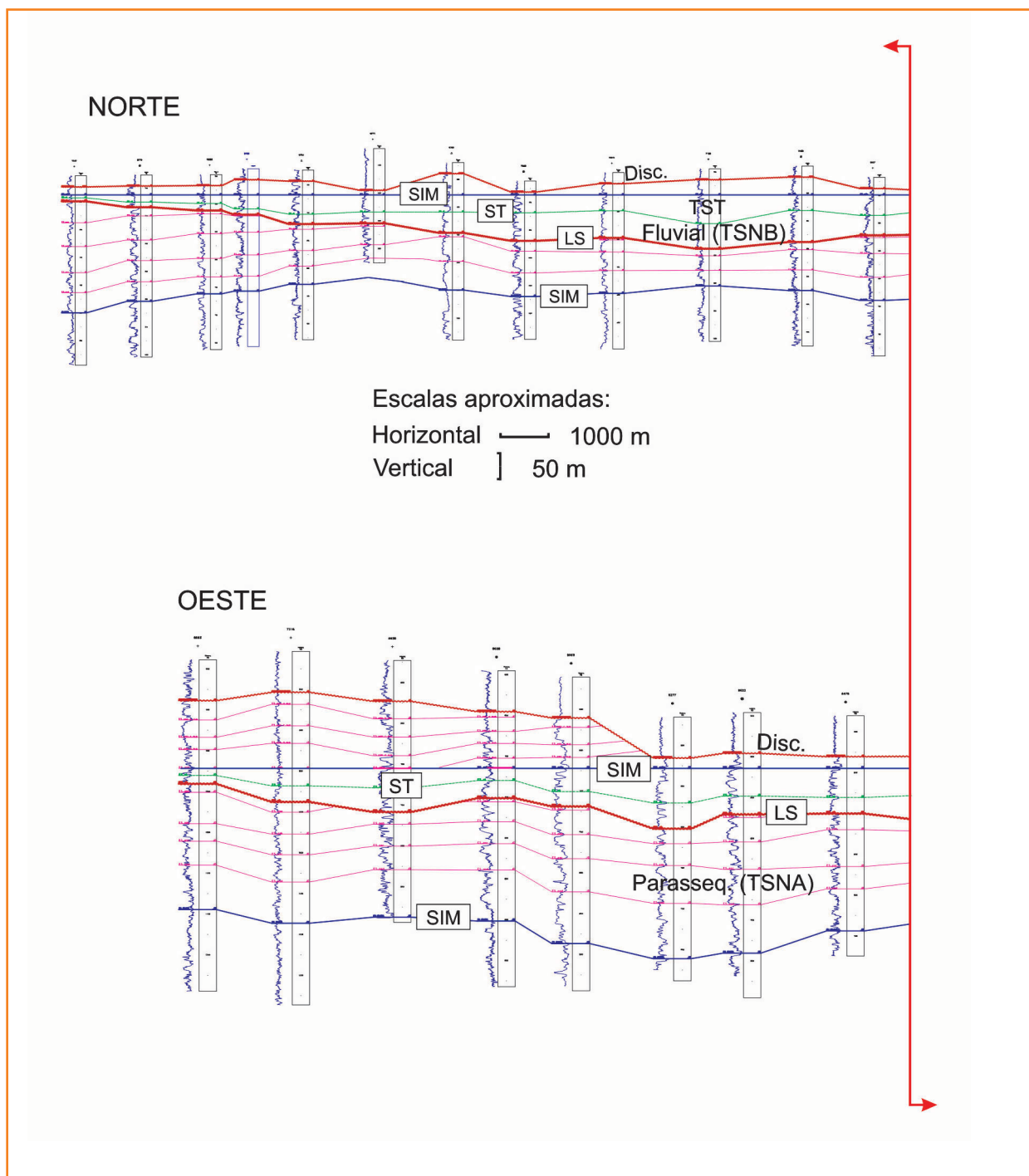
muitos poços, mostra uma clara tendência de aumento de permeabilidade em direção ao topo das parasseqüências, o que poderia estar relacionado com o aumento da dissolução dos feldspatos durante a diagênese.

O controle estratigráfico na distribuição do cimento calcítico é bastante provável, embora não avaliado em detalhe neste estudo. Aparentemente, os níveis decimétricos de intensa cimentação por CaCO_3 estão localizados na porção superior das parasseqüências, similar a outros exemplos descritos na literatura (por exemplo, Ketzer *et al.* 2002). Também relacionadas com este processo, esporadicamente aparecem camadas de coquinas próximas aos limites de parasseqüências.

A ocorrência de fontes múltiplas, associadas com a existência de correntes paralelas, é muito provável de ter ocorrido durante a deposição do domínio deltaico, o que caracterizaria um sistema tipo delta entrelaçado (*braid delta system* de McPherson *et al.* 1987). Na definição original, este tipo de delta seria formado quando um sistema fluvial tipo entrelaçado prograda diretamente em um corpo de água. Este cenário torna possível o desenvolvimento de reservatórios com baixo teor de argila deposicional e grande continuidade lateral (dezenas ou centenas de quilômetros quadrados) quando comparados com os reservatórios do tipo *fan delta*. O intervalo deltaico aqui descrito é interpretado como um delta entrelaçado, possivelmente de múltiplas fontes, de caráter coalescente e desprovido de um leque aluvial claramente identificável em direção leste. Desta maneira, este modelo seria

Figura 14

Seções estratigráficas da área estudada. *Datum*: superfície de máxima inundação (superior). Linha Norte - Sul. A extensão total desta linha corresponde, aproximadamente, aos limites da concessão do Lote 10 na dire o considerada. Observar que a incis o do sistema fluvial   mais intensa na parte central da se o, erodindo algumas das parassequ ncias depositadas anteriormente. Linha Oeste - Leste. A extensão total desta linha corresponde, aproximadamente, aos limites da concessão do Lote 10 na dire o considerada. O intervalo deltaico inferior, nesta dire o, apresenta espessura relativamente constante. Disc: Discordância SIM: Superfície de Máxima Inunda o LS: Limite de Seq ncia ST: Superfície Transgressiva TSNB: Trato de Sistemas de Nível Baixo TSNA: Trato de Sistemas de Nível Alto



uma pequena modifica o do modelo de delta entrelaçado do tipo C de McPherson *et al.* (1987, página 332, figura C). Naquele modelo, este tipo de delta requer ou considera a presença de uma extensiva planície entrelaçada que seria alimentada por um leque aluvial originado na montanha. Este não   o caso do domínio deltaico inferior da Forma o Echinocyamus, principalmente porque existe uma pequena distância

entre a zona principal de aporte (a cadeia de montanhas de Amotape, localizada em dire o leste da área estudada) e os reservatórios estudados.

domínio fluvial (porão superior)

Ao contrário da porão inferior descrita anteriormente, o domínio fluvial mostra padrão de perfil do tipo cilíndrico e/ou do tipo sino, t pico de ciclos com granodrecresc ncia ascendente,

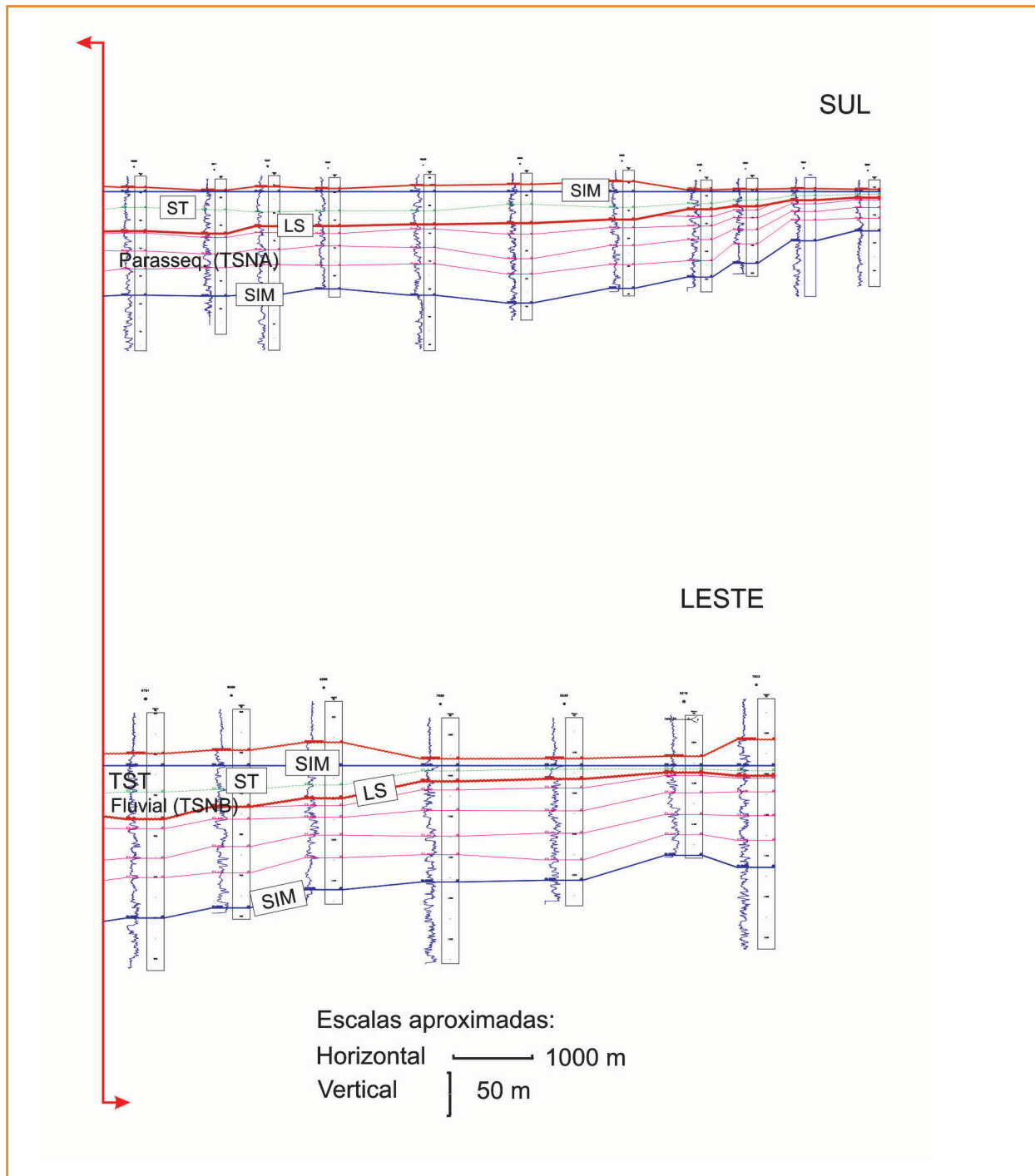


Figure 14

Stratigraphical cross sections in the studied area. Datum: maximum flooding surface (top). North - South cross line. The whole extension corresponds approximately to the north-south length of Block 10 concession. Note that the fluvial system incision is more intense in the central part of the section, thus it has eroded some of the previously deposited parasequences. West-to-East cross line. The whole extension corresponds approximately to the west-east length of Block 10 concession. The lower deltaic interval, in this view, shows relative uniform thickness. Disc: Unconformity SIM: Maximum Flooding Surface LS: Sequence Boundary ST: Transgressive Surface TSNB: Lowstand System Tract TSNA: Highstand System Tract

fato que corrobora a interpretação de um diferente compartimento genético (fig. 14). Desta forma, associado com a arquitetura de fácies descrita em testemunhos, foi possível interpretar a existência de uma superfície com caráter estratigráfico importante limitando a base do intervalo fluvial. Esta superfície, considerada como um limite de seqüência de conotação regional, provavelmente constitui uma significativa bar-

reira ao fluxo vertical de fluidos dentro do reservatório. É importante salientar que o início da ocorrência do sistema fluvial pode variar estratigraficamente, dependendo da área e do grau de incisão deste sistema sobre o sistema deltaico sotoposto.

O sistema fluvial descrito é interpretado como um sistema entrelaçado cuja amalgamação de corpos arenosos canalizados indica um contexto

de baixa taxa de criação de espaço de acomodação, ocasionando constantes avulsões e deslocamentos laterais da zona central de maior energia o que, por consequência, gera erosão e retrabalhamento dos depósitos de planície de inundação.

tratos de sistemas e evolução estratigráfica

Considerando a revisão bioestratigráfica feita por Pozo (2002), interpreta-se que cada parasseqüência do domínio deltaico representa uma ciclicidade de quarta ordem de variação relativa do nível do mar (baseado na hierarquia proposta nos ciclos descritos por Van Wagoner *et al.* 1990). Fatores climáticos podem ter afetado a história genética destes depósitos, não considerados nesta abordagem.

Este domínio deltaico está relacionado com um período de nível alto com grande espaço de acomodação. Associado a isto, uma grande carga de sedimentos estava disponível, permitindo a geração de unidades progradacionais típicas.

A entrada do sistema fluvial franco interrompe, de certa forma, a história evolutiva do domínio deltaico, representando um evento diferenciado que marca o início de uma nova seqüência, correspondendo a um trato de sistemas de nível baixo que apresenta caráter erosivo marcante em algumas áreas (fig. 14). Análises petrográficas preliminares (De Ros e Ketzer, comunicação pessoal) indicam que a composição detrítica e os constituintes diagenéticos mudam radicalmente nos reservatórios fluviais, quando comparados com os reservatórios da unidade sotoposta (deltaica), corroborando a interpretação da existência de uma discordância entre ambos.

Neste modelo, a sedimentação fluvial se desenvolve logo após o rebaixamento do nível de base, durante os primeiros estágios de subida do nível relativo do mar. Não ocorre o desenvolvimento de depósitos marinhos estuarinos de caráter transgressivo, relacionando-se todos os depósitos fluviais ao trato de sistemas de nível baixo. Em seguida, o sistema fluvial é afogado rapidamente, dando início ao trato transgressivo, onde novamente ocorre o desenvolvimento de unida-

des deltaicas, agora em caráter retrogradacional até a máxima inundação. Localmente (em especial na zona proximal a borda oeste do Lote 10) ainda é preservada alguma sedimentação relativa ao trato de sistemas de nível alto subsequente (não enfocados neste estudo), desenvolvido na porção superior da Formação Echinocyamus (correspondente, em linhas gerais, à unidade litoestratigráfica Membro Ballena).

conclusões

1- A seção estudada é composta por dois intervalos estratigráficos distintos, separados por uma discordância regional de quarta ordem. A porção inferior é caracterizada por depósitos deltaicos organizados em parasseqüências empilhadas em um padrão levemente progradacional, definindo um trato de sistemas de nível alto. A porção superior é constituída por corpos arenosos de canais fluviais amalgamados, definindo um trato de sistemas de nível baixo.

2- Com base nos conceitos de Estratigrafia de Seqüências, ambos os intervalos são identificáveis em perfis elétricos, fato que torna a interpretação genética aqui proposta passível de mapeamento em poços sem testemunhos.

3- A arquitetura de fácies aqui descrita resultou em um modelo estratigráfico que compartimenta o reservatório Echinocyamus em unidades genéticas que apresentam complexidade diferente das unidades litoestratigráficas convencionais. A correlação destes domínios deposicionais permitirá um melhor entendimento da sucessão vertical de intervalos de diferentes qualidades de reservatório. Em geral, este modelo é aplicável na extensão total do Lote 10, salientando que um mapeamento tridimensional de detalhe sempre é necessário para cada área em particular. As relações existentes entre as heterogeneidades estratigráficas, a distribuição espacial dos parâmetros petrofísicos dos reservatórios e a produtividade serão avaliadas em etapas futuras.

4- O reconhecimento de unidades genéticas e a correlação destas ao longo do campo representam elementos-chave para o entendimento das

relações entre o padrão de empilhamento, largura, espessura, comprimento e geometria dos reservatórios. Análises seguintes incluirão estudos de petrofácies e reconhecimento de heterogeneidades diagenéticas dentro do arcabouço deposicional aqui proposto. Onde as petrofácies (ou associação de petrofácies, já considerando os efeitos diagenéticos) e unidades genéticas forem positivamente compatíveis, uma unidade de fluxo com boas características produtivas deve ocorrer, se o modelo hidrodinâmico for favorável.

agradecimentos

À Petrobras Energia Peru pela permissão para publicar este artigo, em especial a Pedro Grijalba pelo apoio ao projeto de pós-graduação desenvolvido pelo primeiro autor junto à Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Aos geólogos Alexandre Grassi (E&P-Exploração-Interpretação e Avaliação de Bacias da Costa Leste/Nordeste), Gérson Terra (Recursos Humanos/Universidade Petrobras/Escola de Ciências e Tecnologias da E&P), Luis Alberto Martins de Novaes pelas sugestões e críticas ao texto original; a Adelino Teixeira Dias (Cenpes/P&D de Exploração) pela imensa ajuda na organização das figuras; aos colegas do escritório Petrobras Energía em Lima: Cristian Groba, José Rejas, Christian Huapaya, Jorge Galloso e Eris Gabriel, pelo apoio mútuo e oportunidades de crescimento que diariamente são compartilhadas de forma positiva e saudável. Um agradecimento especial para a Cláudia pelo incentivo constante e companherismo nas horas mais difíceis desta "aventura" pelas terras peruanas.

referências bibliográficas

ALLEN, J. R. L. Studies in fluvial sedimentation: bars, bar-complexes, and sandstone sheets (low sinuosity braided streams) in the brownstones (L. devonian), welsh borders. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, v. 33, p. 237-293, 1983.

BASHORE, W. M.; ARAKINGI, U. G.; LEVY, M.;

SCHWELLER, W. J. Importance of a geological framework and seismic data integration for reservoir modeling and subsequent fluid-flow predictions, In: YANUS, J. M.; CHAMBERS, R. L. (Ed.), **Stochastic Modelling and Geostatistic**. Tulsa, Okla., American Association of Petroleum Geologists, 1994. p. 159-175.

BEGG, S. H.; KAY, A.; GUSTASON, E. R.; ANGERT, P. F. Characterization of a Complex fluvio-deltaic reservoir for simulation. **SPE Reservoir Evaluation & Engineering**, Richardson, Tx., v.11, n.3, p. 147-154, Sep. 1996. (Paper, 28398).

CAROZZI, A. V.; PALOMINO, J. R. The Talara forearc basin: Depositional models of oil-producing Cenozoic clastic systems. **Journal of Petroleum Geology**, v. 16, p. 5-32, 1993.

COLLINSON, J. D. Alluvial Sediments. In : Reading, H. G. (Ed.). **Sedimentary Environments : Processes, Fácies and Stratigraphy**. 3. ed. Oxford : Blackwell Science, 1996. 688 p. p. 37-82. Chapter 3.

DAUDT, J.; GROSSO, S.; SULLIVAN, M. D. Sea-level changes and tectonic influence in the deposition of the Cabo Blanco Member : Example of an Eocene Fluvio-Estuarine system in Talara Basin, NW Peru. **Boletín de la Sociedad Geológica del Peru**, v. 97, p. 67-80, 2004.

DICKINSON, W. R.; SEELY, D. R. Structure and stratigraphy of forearc regions. **American Association of Petroleum Geologists. Bulletin**, Tulsa, Okla., v. 63, p. 2-31, 1979.

ESCHARD, R.; LEMOUZY, P.; BACCHIANA, C.; DÉSAUBLIAUX, G.; PARPANT, J.; SMART, B. Combining sequence stratigraphy, geostatistical simulations, and production data for modelling a fluvial reservoir in the chaunoy field (Triassic, France). **American Association of Petroleum Geologists. Bulletin**, Tulsa, Okla., v. 82, p. 545-568, 1998.

FILDANI, A. **Analysis of two arc-associated basins and onset of their deep-water stages: Magallanes basin, Chile, and Talara basin, Peru**. Stanford : Stanford University, 2004. Tese (Doutorado).

FILDANI, A.; HANSON, A.; CHEN, Z.; MOLDOWAN, J.

- M; GRAHAM, S.; ARRIOLA, P. R. Geochemical characteristics of oil and source rocks and implications for petroleum systems, Talara basin, northwest Peru. **American Association of Petroleum Geologists. Bulletin**, Tulsa, Okla., v. 89, p. 1519-1545, 2005.
- GROBA, C.; GALLOSO, J.; REJAS, J.; LEYVA, J.; TOLEDO, R.; DAUDT, J. Análisis del Potencial por Recuperación Secundaria de la Formación Echinocamus, Lote 10, Cuenca Talara, Perú. In : SEMINARIO INTERNACIONAL EN PRÁCTICAS DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE PETRÓLEO Y GAS - INGEPET, 5., 2005, Lima, Perú. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2005.
- HAMLIN, H. S.; DUTTON, S. P.; SEGGIE, R. J.; TYLER, N. Depositional controls on reservoir properties in a braid-delta sandstone, tirrawarra oil Field, South Australia. **American Association of Petroleum Geologists. Bulletin**, Tulsa, Okla., v. 80, p. 139-156, 1996.
- KETZER, J. M.; MORAD, S.; EVANS, R.; AL-AASM, I. S. Distribution of diagenetic alterations in fluvial, deltaic, and shallow marine sandstones within a sequence stratigraphic framework: evidence from the mullaghmore Formation (Carboniferous), New Ireland. **Journal of Sedimentary Research** Tulsa, Okla., v. 72, p. 760-774, 2002.
- LEEDER, M. **Sedimentology and Sedimentary basins** : from turbulence to tectonics. Oxford, Blackwell Science, 1999, 592 p.
- LOWE, D. Sediment gravity flow II: depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. **Journal of Sedimentary Petrology**. Tulsa, Okla., v. 52, p. 279-297, 1982.
- McPHERSON, J. G.; SHANMUGAN, G.; MOIOLA, R. J. Fan-deltas and braid deltas : Varieties of coarse-grained deltas. **Geological Society of America Bulletin**, Boulder, v. 99, p. 331-340, 1987.
- MIALL, A. D. Architectural-element analysis: a new method of fácies analysis applied to fluvial deposits. **Earth Science Review**, v. 22, p. 261-308, 1985.
- MIALL, A. D. Fácies Architecture analysis in clastic sedimentary basins. In : KLEINSPEHN, K. L.; PAOLA, C. (Ed.). **New perspectives in basin analysis**. New York : Springer-Verlag, 1988. 453 p. p. 63-81.
- MIALL, A. D. **The Geology of fluvial deposits** : Sedimentary fácies, basin analysis and petroleum geology. Heidelberg, Springer-Verlag, 1996, 582 p.
- MOURIER, T.; MÉGARD, F.; RIVERA, L.; ARGUEDAS, A. P. L'évolution mésozoïque des Andes de Huancabamba (nord Pérou-Sud Ecuateur) et l'hypothèse de l'accrétion du bloc Amotape-Tahuin. **Bulletin de la Société Géologique de France**, Paris : Société Géologique de France, 1988, v. 4, p. 69-79.
- PINDELL, J. L.; TABBUTT, K. D. Mesozoic-cenozoic andean paleogeography and regional controls on hydrocarbon systems. In : TANKARD, A. J.; WELSINK, H. (Ed.). **Petroleum basins of South America**. Tulsa, Okla. : American Association of Petroleum Geologists, 1995, p. 101-128, (American Association of Petroleum Geologists. Memoir, 62).
- POZO, G. Bioestratigrafía de Alta Resolución y su Aplicación en la Identificación de Secuencias Cronoestratigráficas de Tercer Orden en el Paleógeno del Lote 10, Cuenca Talara, Perú. In : CONGRESO PERUANO DE GEOLOGIA, 11., 2002, Lima, Perú, **Anais...** Peru : Sociedad Geologica del Perú, 2002. p. 249-264.
- RAMÓN, J. C.; CROSS, T. A. Characterization and Prediction of Reservoir Architecture and Petrophysical Properties in Fluvial Channel Sandstones, Middle Magdalena Basin, Colombia. **Ciencia, Tecnología y Futuro**, Bucaramanga, Colombia, v. 1, n. 3, p. 19-46, 1997.
- STEINMANN, G. **Geología del Perú**. Carl Winters : Universitätsbuchhandlung, 1929. 448p.
- TANKARD, A. **Tectonic Framework of Basin Evolution in Peru**. 2002. 29 p. Relatório Público publicado por Perupetro.
- VAN WAGONER, J. C.; MITCHUM, R. M.; CAMPION, K. M.; RAHMANIAN, V. D. **Siliciclastic Sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops** : concepts for high-resolution correlation of time and fácies. Tulsa, Okla. : American Association of Petroleum Geologists, 1990. 52 p. (AAPG Methods in Exploration Series, 7).

expanded abstract

The Lower Eocene (Ypresian to Lutetian) Echinocyamus Formation is one of the most important plays in Block 10, Talara Basin (Northwestern of Peru), area under concession of Petrobras Energia Peru. It is estimated that only 12-16% of the total OOIP (Original Oil In Place) can be recovered by primary production in this play. Due to this low efficiency, several secondary recovery projects, mainly using water-flooding techniques, are to be implemented in the coming years, thus increasing the need for better characterizing this play.

The objective of this paper is to present the facies architecture and the stratigraphical evolution of the studied section. The focus is on the depositional model, thus characterizing the facies associations to interpret the sub-environments of deposition, and their vertical succession. The facies model was built based on the description of almost 400 m of conventional cores, randomly distributed along Block 10. Information from a traditional suite of logs was also integrated in the interpretation in order to characterize the electrical pattern or motif of each major facies associations (or sub-environment).

According to the interpretation, the unit is compounded by a series of highstand deltaic parasequences or parasequence sets in the lowermost portion, followed by lowstand fluvial facies associations in the upper part and represents a fourth-order base level fall. Transgression of distal, deltaic-influenced deposits over the fluvial environment marks the final stages of the studied section. The most important and sequence stratigraphic-related surfaces identified were high frequency parasequence boundaries in the lower part; the sequence boundary that precedes the fluvial system deposition in the upper part; the transgressive surface and the maximum flooding surfaces that mark the top of the transgressive system tract in the upper boundary of the studied section. All these surfaces are potentially flow barriers, at least in the oil field scale.

This researchwork is the first step towards improving geological knowledge of this unit in order to build more accurate static models that reflect all the important reservoir heterogeneities. Consequently, dynamic models are to be more reliable and consistent, thus reducing the risks and increasing the profitability of the project.

autor principal



José Alfredo Borges Daudt

Petrobras Energía Peru

e-mail: jose.daudt@petrobras.com

José Alfredo Borges Daudt nasceu em Rio Pardo - RS no dia 26 de dezembro de 1966. Graduou-se em Geologia pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) em janeiro de 1989, ingressando na Petrobras como bolsista do antigo Curso Introdutório de Geologia do Petróleo (CIGEP) em julho de 1989.

Efetivado na Companhia em maio de 1990, trabalhou como geólogo de acompanhamento nas bacias de Campos e Santos até 1994. De 1994 até 1996 desempenhou iguais funções na Bacia do Recôncavo (BA), sendo transferido para a Gerência de Laboratórios (Gelab), em outubro de 1996. Como parte da equipe de Estratigrafia da Gelab, participou da organização e montagem do curso de campo "Métodos de Análise Estratigráfica em Sistemas Depositionais Siliciclásticos na Chapada Diamantina". Em agosto de 1997 retornou a Macaé, como geólogo da Gelab, para trabalhar com reservatórios turbidíticos do Oligoceno-Mioceno da Bacia de Campos, tendo atuado como guia de campo do seminário "Turbiditos do Vale do Itajaí" juntamente com Eduardo Rodrigues e Luci Arienti. Em agosto de 2000 foi contratado pela antiga Perez Companc S.A. (atualmente Petrobras Energía) para trabalhar com desenvolvimento e exploração na Bacia de Talara, Noroeste do Peru. Desde 2005 participa do curso de pós-graduação na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, nível doutorado, enfocando o uso integrado da Sedimentologia e Estratigrafia de Seqüências na caracterização estática de reservatórios siliciclásticos.