

Sistemas deposicionais de talude e de bacia no Eoceno da Bacia de Santos

Eocene slope and basin depositional systems in the Santos Basin

Jobel Lourenço Pinheiro Moreira | Mário Carminatti

resumo

Estudos de depósitos formados por fluxos gravitacionais de sedimentos em bacias de margem continental não têm considerado adequadamente o contexto estratigráfico em que ocorrem. Em consequência, vários tipos de sistemas deposicionais siliciclásticos, tanto de águas rasas quanto de águas profundas, são, de forma errônea, referenciados genericamente como depósitos turbidíticos. Da mesma forma, mapas de razão areia/folhelho têm sido elaborados para depósitos de fluxos gravitacionais de sedimentos independentemente da natureza dos mesmos. Tal prática tende a fornecer informações incorretas sobre a distribuição de rochas reservatórios e de rochas selantes, com possíveis prejuízos para a geologia econômica da exploração e exploração do petróleo. Fluxos gravitacionais de sedimentos formaram os principais depósitos sedimentares na região de talude-bacia da seqüência deposicional do Eoceno Inferior-Médio, no norte da Bacia de Santos. Usando conceitos da Estratigrafia de Seqüências, este trabalho busca definir e caracterizar estratigraficamente os principais elementos dos sistemas deposicionais que ocorrem na seção sedimentar da área de estudo. Como resultado, são

evidenciados dois sistemas distintos de depósitos siliciclásticos formados por fluxos gravitacionais de sedimentos dentro de uma mesma seqüência deposicional de terceira ordem: Sistema Arenoso e Sistema Lamoso. O Sistema Arenoso, depositado em nível de mar baixo e formado por fluxos gravitacionais de sedimentos extrabaciais provocados por cheias fluviais, é reconhecido pelos seguintes elementos deposicionais: canais fluviais, *canyons*, canais submarinos e leques arenosos de bacia. Os arenitos são geralmente porosos e altamente permeáveis, constituindo-se em excelentes reservatórios. O Sistema Lamoso, depositado em nível de mar alto e formado por fluxos gravitacionais de sedimentos provocados por deslizamentos intrabaciais, é reconhecido pelos seguintes elementos deposicionais: deltas de margem de plataforma, superfícies erosivas de alto ângulo, cunhas de acreção sedimentar e depósitos de paraconglomerados suportados por matriz argilosa. Tais conglomerados são de baixíssima permeabilidade e constituem reservatórios de péssima qualidade. Sedimentos hemipelágicos da fase transgressiva, quando preservados da forte ação erosiva dos fluxos gravitacionais de sedimentos que formam o Sistema Lamoso, constituem a única rocha com

qualidade selante para possíveis acumulações de petróleo no Sistema Arenoso.

(originais recebidos em 24.03.2004)

Palavras-chave: Eoceno | sistema arenoso | sistema lamoso | elemento deposicional

abstract

The study of deposits originated by sedimentary gravity flows in continental margin basins has systematically underrated the local stratigraphic context. In consequence, some types of terrigenous depositional systems, from both shallow and deep waters, are improperly described as turbidite deposits. In the same way, sand/shale maps have been elaborated for sedimentary gravity flow deposits without considering their depositional environment. This fact provides incorrect information about reservoir behaviour and seal rock distribution, with possible prejudice to geological interpretation for petroleum exploration and production. Sedimentary gravity flows form the main deposits in the slope-basin of the lower-middle Eocene depositional sequences to the N of the Santos Basin. The objective of this study is to characterize stratigraphically the main elements of the depositional systems that occur in the Eocene section of the study area on the basis of sequence stratigraphy. As a result, two distinct systems of terrigenous deposits formed by sedimentary gravity flows on a single 3rd order depositional sequence are defined: A Sandy System and a Muddy System. The Sandy System, deposited during periods of sea level fall, was formed by allochthonous sediments of gravity flows originated by fluvial floods. It is characterized by the following depositional elements: fluvial channels, canyons, submarine channels and basin sandy fans. These sandstone reservoirs have generally high porosity and permeability. A Muddy System, deposited under high-stand sea level conditions, and formed by gravity flows caused by autochthonous sediment slides, can be recognized by the following depositional elements: shelf-margin delta, steep erosional surfaces, accretion wedges and chaotic matrix-supported conglomerate beds. Such conglomerate beds have low permeability and form poor quality reservoirs. The hemipelagic sediments of the late transgressive sea level phase, when preserved from the strong

erosive action of sedimentary gravity flows, are the only seal rocks for Sandy System oil accumulation.

(expanded abstract available at the end of the paper)

Keywords: Eocene | sandy system | muddy system | depositional element

introdução

Modelos sedimentares obtidos a partir de estudos em afloramentos de bacias emersas têm sido aplicados de forma direta para a compreensão de sistemas deposicionais de águas profundas em seções sedimentares das bacias de margens passivas. Tal procedimento, aplicado à geologia do petróleo, tem gerado uma série de problemas exaustivamente discutidos na literatura. Os principais relacionam-se à categoria dos arenitos pertencentes aos sistemas deposicionais siliciclásticos formados por fluxos gravitacionais de sedimentos que, indistintamente, têm sido denominados arenitos “turbidíticos” (Bouma, 1985a; Bouma et al. 1985b; Carminatti e Scarton, 1991; Normark et al. 1979; Mutti e Normark, 1991; Mutti, 1992; Lowe, 1982; Kola et al. 2001; Piper e Normark, 2001). Da mesma forma, porém sem ter recebido a mesma atenção dos pesquisadores, paraconglomerados dominados por matriz argilosa de importantes sistemas deposicionais, formados por fluxos gravitacionais de sedimentos argilosos, têm sido sistematicamente denominados, erradamente, de folhelhos ou referenciados genericamente por sua matriz, e chamados descritivamente de diamictitos. Esta simplificação cria importantes problemas de ordem prática para a exploração e exploração de petróleo em reservatórios oriundos dos sistemas deposicionais siliciclásticos formados por fluxos gravitacionais de sedimentos depositados nas regiões de águas profundas nas bacias da margem continental.

Muitos autores têm enfatizado *canyons* e canais submarinos e escorregamentos de massa como os principais elementos de condução de sedimentos para formar os sistemas deposicionais siliciclásticos de talude e bacia (Tinterri et al. 2003; Mutti, 1992; Vail et al. 1977; Posamentier

et al. 1988; Shanmugam, 1996; Mellere *et al.* 2002). A maioria concorda que fluxos gravitacionais de sedimentos, provocados por potentes inundações fluviais e volumosos fluxos gravitacionais de massa coesa, sejam os principais mecanismos de transporte que estão na origem destes depósitos, tanto nas plataformas quanto em regiões de talude e bacia. Contudo, pela descon sideração sistemática do posicionamento estratigráfico e paleogeográfico dos seus elementos deposicionais, sistemas deposicionais fluviais, flúvio-deltaicos e leques deltaicos de bacias sedimentares de margem passiva têm sido constantemente mapeados em subsuperfície de forma indistinta como sistemas deposicionais turbidíticos. Como consequência, mapas de reservatórios arenosos referenciados como turbiditos tendem a mesclar, na verdade, vários tipos de sistemas deposicionais, tanto de águas rasas quanto profundas. Da mesma forma, depósitos formados por fluxos gravitacionais de massa argilo-arenosa provocados por deslizamentos intrabaciais, embora volumosos e extremamente comuns, raramente têm sido descritos como parte importante dos sistemas deposicionais siliciclásticos de talude e de bacia. Por serem referenciados descritivamente de forma errada, mapas de rochas reservatórios e de rochas selantes baseados na razão areia/folhelho são incorretos, com graves consequências para a geologia econômica de determinada acumulação de petróleo.

Os recentes e significativos avanços na área da Estratigrafia e da Sedimentologia, notadamente na identificação e caracterização de mecanismos de transporte e de deposição e nas suas técnicas de agrupar geneticamente fácies sedimentares e, na área da Geofísica, nas técnicas de tratamento do sinal sísmico, permitem evoluir no sentido de se caracterizarem os sistemas deposicionais siliciclásticos das bacias segundo seus próprios elementos deposicionais e fácies sedimentares.

Contudo, mesmo com tais avanços permitindo que canais fluviais, *canyons* e canais submarinos, cicatrizes de escorregamento de massa e geometrias deposicionais sejam facilmente identificáveis em mapas de atributos sísmicos, e que fácies sedimentares formadas por fluxos gravitacionais

de sedimentos sejam caracterizáveis em testemunhos, ou mesmo em amostras de calha, raros modelos sedimentares têm sido gerados a partir destas informações.

Trata-se, aqui, da parte mais elementar de toda esta problemática. Usando conceitos da Estratigrafia de Seqüências (Posamentier *et al.* 1988; Van Wagoner *et al.* 1988), busca-se caracterizar os principais elementos dos sistemas deposicionais que ocorrem na seção sedimentar no Eoceno Inferior-Médio do norte da Bacia de Santos. Como resultado, foi evidenciado o relacionamento paleogeográfico e estratigráfico de dois sistemas distintos de depósitos siliciclásticos formados por fluxos gravitacionais de sedimentos dentro de uma mesma seqüência deposicional de terceira ordem e informalmente denominados de: Sistema Arenoso e Sistema Lamoso.

geologia regional

A Bacia de Santos tem sido estudada regionalmente por diversos autores (Moraes Jr. *et al.* 1994a; Moraes Jr. *et al.* 1994b; Mohriak e Macedo, 1993; Pereira *et al.* 1986; Pereira e Macedo, 1990).

A seção sedimentar do Cretáceo Superior e Terciário Inferior na porção norte da Bacia de Santos (fig. 1) é caracterizada por uma sucessão de arenitos e folhelhos de plataforma e talude em uma bacia de margem passiva marinha. A abertura da bacia foi precedida no Eocretáceo (Hauteriviano/Barremiano) por uma fase rifte e uma fase transicional aptiana. Esta fase transicional é rica em evaporitos, responsáveis pela deformação plástica ao longo da evolução da margem passiva. A subsidência da bacia durante o Paleoceno e Eoceno criou espaço suficiente para acomodar toda a sedimentação desde a planície aluvial até o ambiente marinho profundo.

estratigrafia

A seqüência deposicional de 3ª ordem do Eoceno Inferior-Médio (SDE) se caracteriza, na área estudada, por uma fase progradante que representa o trato de mar baixo, e outra subsequente, agradável, que compreende os tratos transgressivo e de mar

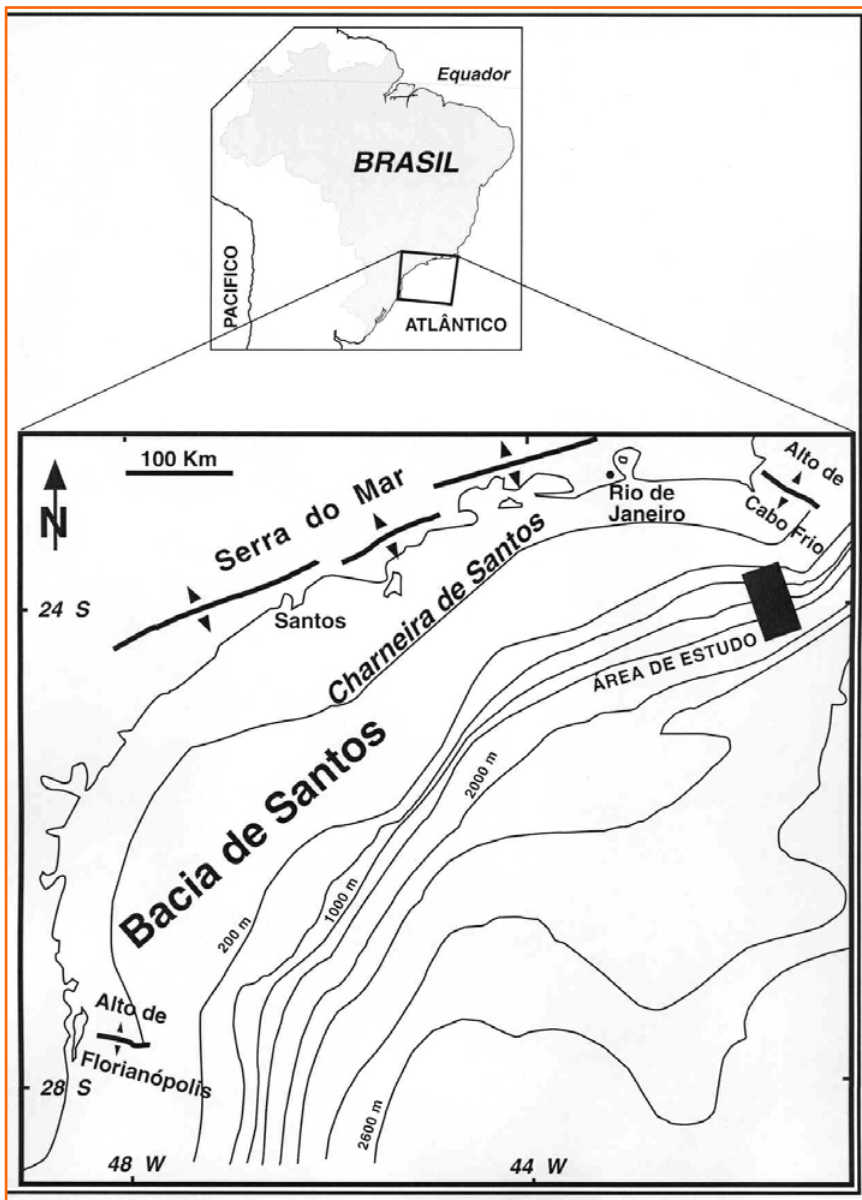


Figura 1
Mapa de localização da Baía de Santos e da área de estudo.

Figure 1
Location map of the Santos Basin and the studied area.

alto (Moreira, 2000a; Moreira *et al.* 2000b), (fig. 2).

A fase progradante é formada pelo Sistema Arenoso, depositado por fluxos gravitacionais de sedimentos na região de talude-bacia, seguido por uma cunha de sedimentos de plataforma e talude.

O Sistema Arenoso é depositado sobre a superfície de descontinuidade estratigráfica basal, erosiva, de idade Eoceno Inferior, que representa o limite da seqüência deposicional (LS). Ao nível da base desta seqüência ocorrem quatro *canyons* que migram no tempo e no espaço e são responsáveis pelos estágios de formação do Sistema Arenoso. Na prática, o limite da se-

qüência (LS) é representado pela superfície erosional do *canyon* mais antigo, C1 (figs. 2 e 3).

Esta fase progradante persiste após a formação dos *canyons*, com a deposição de sistemas de plataforma-talude que avançam em direção à bacia. Esta fase é marcada por um período de relativa estabilidade do talude, com a formação dos sistemas deposicionais deltaicos de margem de plataforma-talude superior, no sentido de Porebski e Steel, 2003 (fig. 4). Em geral, estes sistemas não geram grandes volumes de depósitos gravitacionais no sopé do talude, exceto por deslizamento quando a declividade do mesmo ultrapassa 3°, como é o caso registrado na parte tardia do trato de mar baixo e indicado na figura 4 (Moreira, 2000a).

A superfície transgressiva (ST), indicada nas figuras 2 e 4, marca o início da fase agradante. Esta fase é formada pelo Sistema Lamoso, depositado por fluxos gravitacionais de sedimentos na região de talude-bacia e sedimentos deltaicos de plataforma.

depósitos gravitacionais

A seção sedimentar da base de talude-bacia da seqüência deposicional do Eoceno Inferior-Médio caracteriza-se por apresentar dois sistemas dominantes de rochas produzidos por fluxos gravitacionais de sedimentos. O inferior, formado durante a fase de mar baixo, é composto predominantemente por arenitos, conglomerados e folhelhos, denominado informalmente de **Sistema Arenoso** (SA) (figs 2 e 4). O superior, formado durante a fase de mar alto, composto predominantemente por paraconglomerados de matriz argilosa e argilitos, é aqui informalmente denominado de **Sistema Lamoso** (SL) (figs 2 e 4). Estes sistemas são separados entre si por sedimentos argilosos hemipelágicos, da fase transgressiva. No entanto, na região do sopé de talude-bacia tais sedimentos hemipelágicos são raramente preservados do efeito erosivo provocado pelos fluxos gravitacionais lamosos, que fazem com que o Sistema Lamoso esteja discordantemente depositado sobre o Sistema Arenoso (figs. 2 e 4).

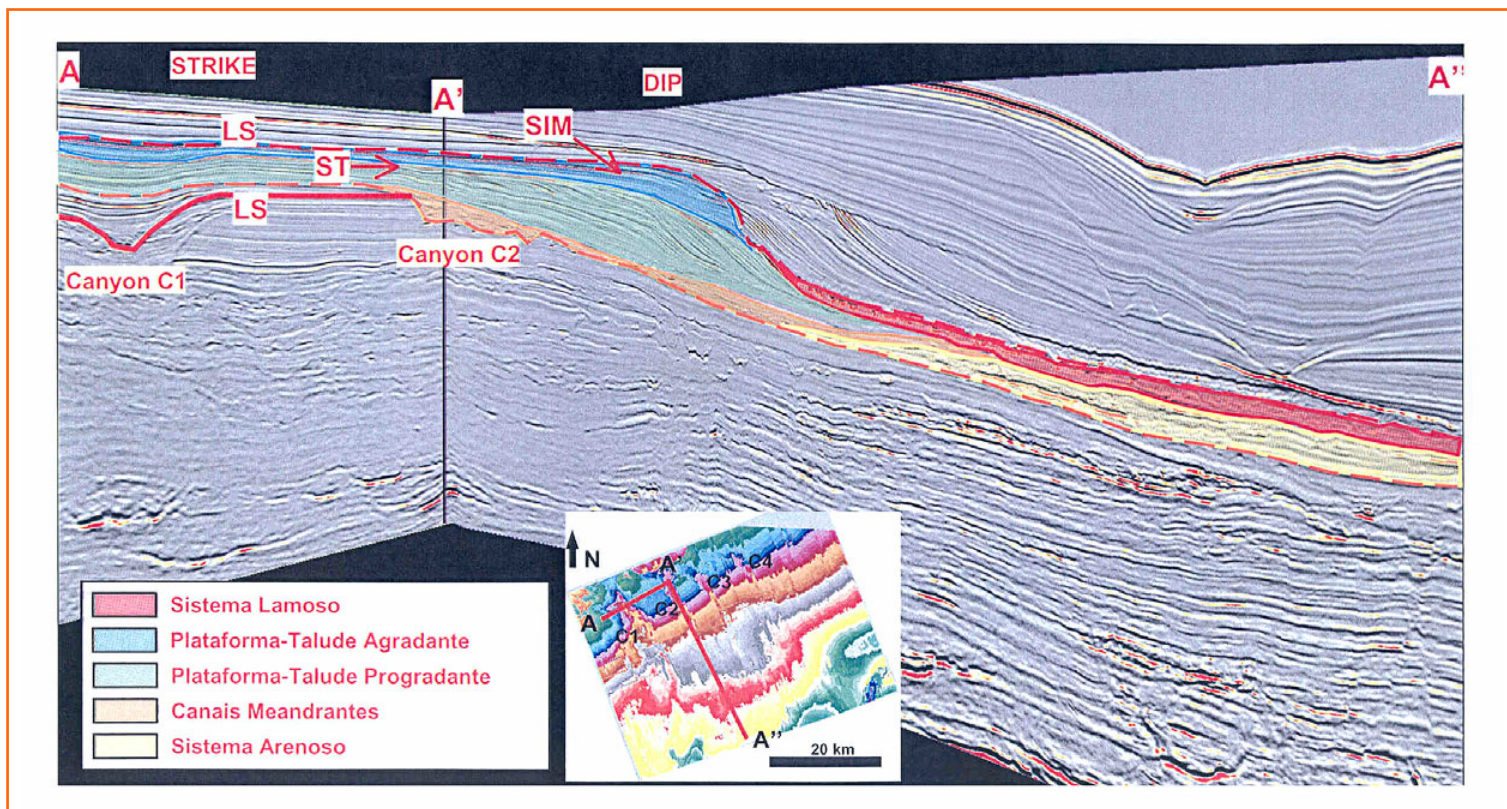


Figura 2 – Expressão sísmica da seqüência deposicional do Eoceno Inferior-Médio, suas fases progradante e agradante e seus depósitos gravitacionais de talude-bacia (Sistema Arenoso e Sistema Lamoso).

Figure 2 – Seismic pattern of the lower-middle Eocene depositional sequence, showing its progradational and aggradational phases and the related basin gravity deposits (Sandy System and Muddy System).

elementos deposicionais do sistema arenoso (SA)

O limite da seqüência, síncrono ao tempo de formação do *canyon* mais antigo, representa a paleosuperfície deposicional sobre a qual se instalou a seqüência deposicional do Eoceno Inferior-Médio. A paleogeografia no tempo desta superfície é perfeitamente observada em todos os mapas de atributos sísmicos sendo possível, por interpretação, inferir as áreas da plataforma com borda retilínea, talude e bacia. Na figura 5, o mapa de amplitude sísmica ao nível do limite da seqüência mostra os principais elementos deposicionais do Sistema Arenoso: *canyons* (C1-C4), leques arenosos (SA1-SA4) adelgaçando contra a base do talude, canais meandrantes (CM) e delta de margem de plataforma com corpos arenosos de talude superior (CAT), depositados em regime de retrogradação sobre a superfície basal da unidade.

canyons

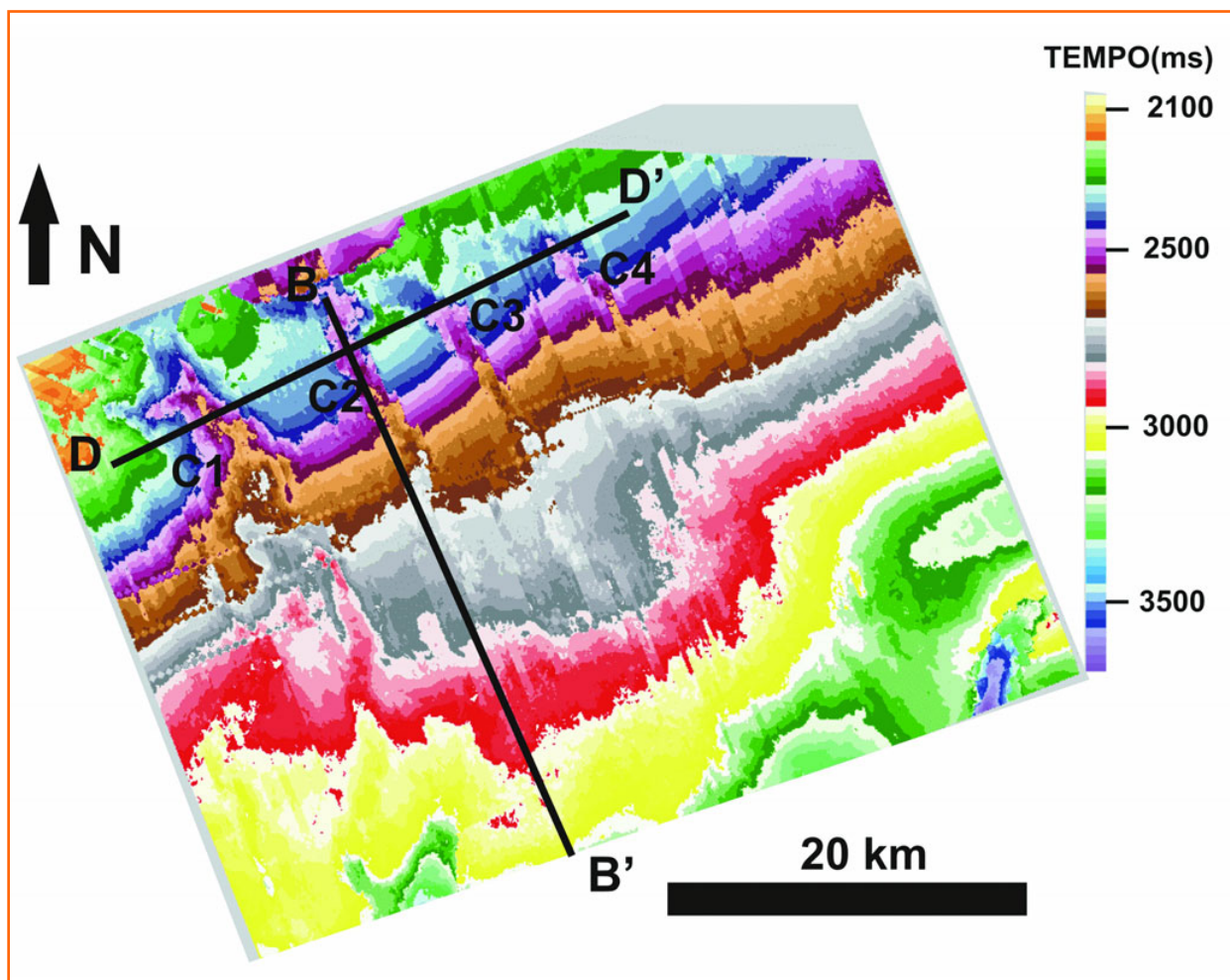
A parte basal da seqüência deposicional é caracterizada pela presença de quatro *canyons* que cortam a plataforma em direção à bacia, formando o principal elemento estratigráfico na zona de transferência do Sistema Arenoso. Estes *canyons*, informalmente denominados de C1, C2, C3 e C4, migram lateralmente no tempo e no espaço, deslocando-se de oeste para leste, e atingindo níveis estratigráficos diferentes, sendo o C1 mais antigo e o C4 mais novo (figs. 5 e 6). O *canyon* C1, o mais antigo, é também o mais longo e mais profundo, sendo que a parte proximal do seu conduto atingiu a região costeira, capturando, provavelmente, sedimentos da planície aluvial (fig. 3). É importante salientar que não há evidências diretas desta assertiva, contudo sedimentos avermelhados descritos em poços que perfuraram esta seção permitem tal inferência. Os *canyons* C2, C3 e C4, paralelos entre si

Figura 3

Mapa estrutural (tempo) do limite da seqüência deposicional evidenciando os *canyons* C1-C4. BB' – localização da seção sísmica (perpendicular à linha de borda da plataforma) mostrada na figura 4; DD' - localização da seção sísmica (paralela à linha de borda da plataforma), mostrada na figura 6.

Figure 3

Structural map (time) of the sequence boundary of the lower-middle Eocene depositional sequence showing C1-C4 canyons. BB' - Location of the dip seismic section of figure 4. DD' - Location of the strike seismic section of figure 6.



(fig. 5), têm a mesma geometria do *canyon* C1, entretanto seus condutos são progressivamente mais curtos e cada vez mais desconectados da planície aluvial. De qualquer forma, é importante caracterizar a recorrência de intensos eventos erosivos (C1-C4) e suas relações diretas na formação dos vastos depósitos siliciclásticos (SA1-SA4) de talude-bacia desta seqüência deposicional, conforme mostrado na figura 5.

sistema arenoso (SA)

Os corpos arenosos da base da seqüência deposicional estão geneticamente relacionados aos *canyons* e, provavelmente, representam depósitos de fluxos gravitacionais de sedimentos produzidos por grandes enchentes fluviais em nível de mar baixo. Os depósitos sedimentares são formados por leques arenosos amalgamados e que coalescem na bacia formando um grande corpo

tabular. Na realidade, é possível associar geneticamente um estágio de formação do Sistema Arenoso para cada *canyon* individualmente. Desse modo, tem-se o *canyon* C1 ligado ao estágio 1 do Sistema Arenoso (SA1), o *canyon* C2 ao estágio 2 do Sistema Arenoso (SA2) e assim sucessivamente (fig. 5). Observa-se, pelo mapeamento individual dos *canyons*, que temporalmente estes se tornam mais curtos e mais rasos; em conseqüência, o volume de sedimentos transferido para a zona de deposição é muito maior no estágio inicial do Sistema Arenoso (SA1) do que no estágio 4 de formação deste sistema (SA4). Isto explica porque a zona de deposição do estágio 4 do Sistema Arenoso (SA4) é mais circunscrita ao sopé do talude. A análise de fácies em testemunho representativo destes depósitos classifica-os como turbiditos formados por correntes de turbidez de alta densidade, provavelmente provocados por cheias fluviais.

canais meandrantes (CM)

Sistemas de canais meandrantes ocorrem dentro dos *canyons* submarinos (C1-C4) desde a plataforma até as porções distais da bacia (fig. 5). Observa-se, na base do talude, que a estes canais meandriformes associam-se, geneticamente, corpos arenosos de dimensões menores do que aqueles formados pela ação do *canyon* principal, demonstrando menor eficiência de transporte. Tais corpos arenosos constituem episódios de acreção lateral dentro dos *canyons*, do tipo corte e preenchimento, representando estágios deposicionais posteriores à sedimentação dos corpos arenosos relacionados ao conduto principal (*canyon*) (figs. 5 e 6). A ausência de testemunhos não permite que o mecanismo de formação dos depósitos associados em termos faciológicos seja analisado. Contudo, interpreta-

se que o elevado grau de corte e preenchimento, emprestando a característica meandriforme aos canais submarinos, é associado à progradação cíclica de deltas de margem de plataforma, conforme indicado por padrões de refletores sísmicos (fig. 6), que se instalaram entre cada episódio de formação de *canyons* (C1-C4). Tais canais meandrantos e seus respectivos depósitos são aqui interpretados como tendo sido produzidos por fluxos gravitacionais de sedimentos gerados por cheias fluviais, aos moldes do que foi proposto por Mutti *et al.* (2003) para sistemas mistos.

deltas de margem de plataforma (DM)

A sedimentação deltaica de margem de plataforma é pouco conhecida devido à falta de dados de poços e de rocha. Entretanto, pelo estudo do sinal sísmico observam-se sedimentos em pro-

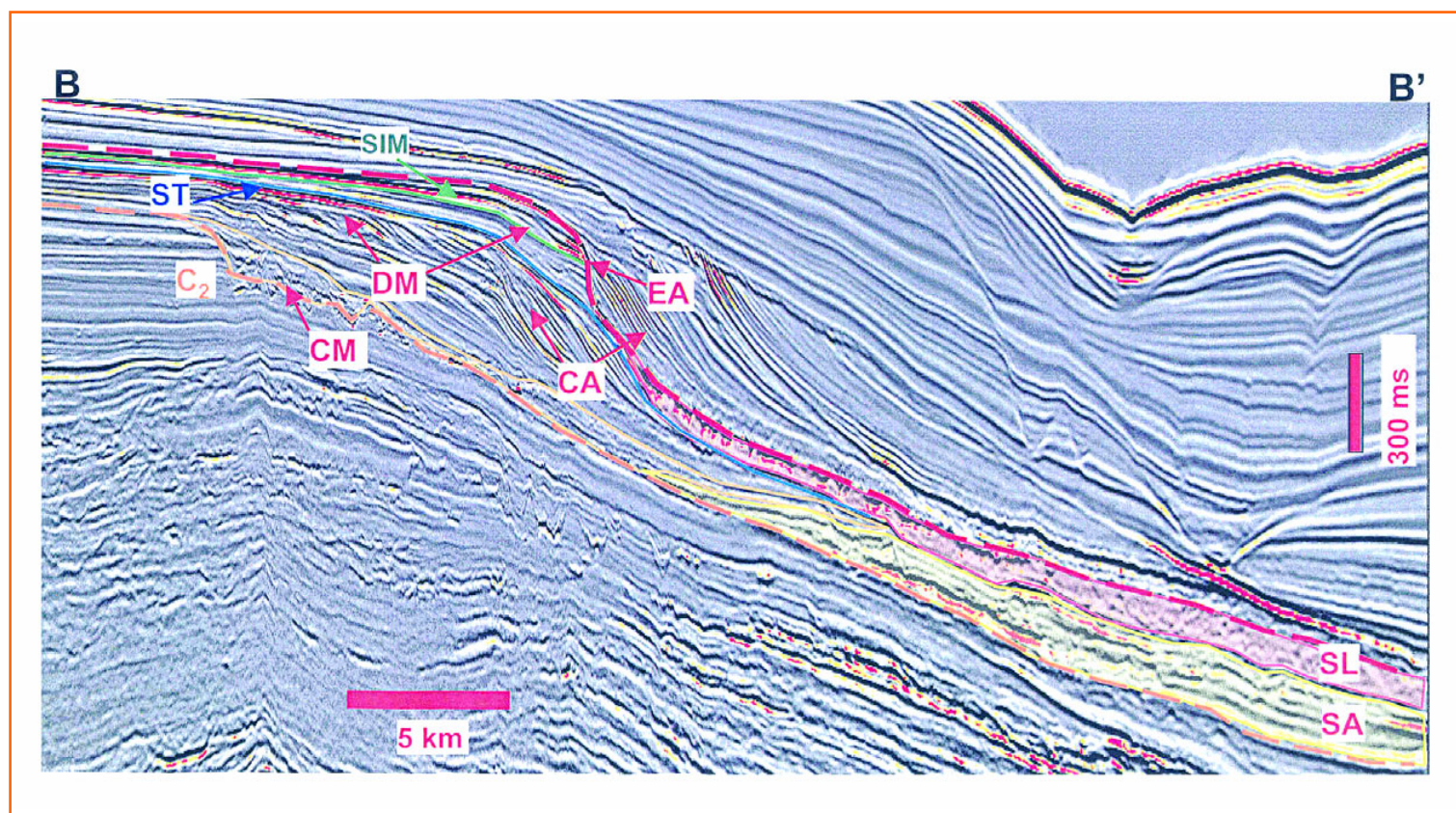


Figura 4 – Principais elementos deposicionais do Sistema Arenoso (*Canyon* (C2); Canal meandrante (CM); Delta de margem de plataforma (DM) e Sistema Arenoso (SA)) e do Sistema Lamoso (Delta de margem de plataforma (DM); Superfície erosiva de alto ângulo (EA); Cunha de acreção sedimentar (CA) e Sistema Lamoso (SL)).

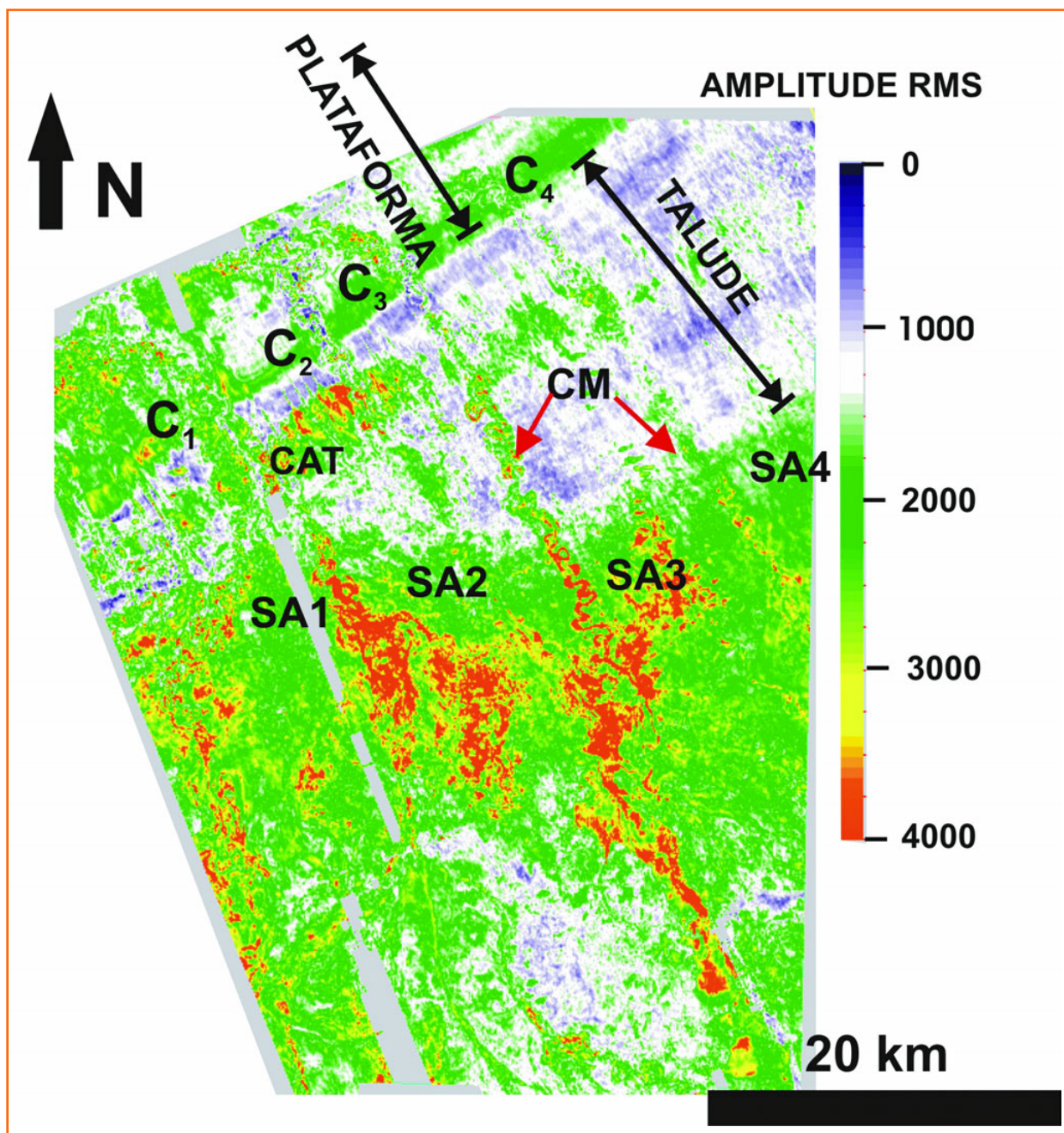
Figure 4 – Main depositional elements of the Sandy System: *Canyon* (C2); meandering channel (CM), shelf margin delta (DM), Sandy System (SA). Main deposits of the Muddy System: shelf margin delta (DM); high angle erosional surface (EA); accretion wedge (CA) and the Muddy System (SL).

Figura 5

Mapa de amplitude RMS ao nível do limite da seqüência deposicional mostrando as relações de canyons (C1-C4) e canais meandrantés (CM) com o Sistema Arenoso (SA) e corpos arenosos de talude (CAT).

Figure 5

RMS amplitude map at the sequence boundary showing the relationship between canyons (C1-C4) and meandering channels (CM) within the Sandy System (SA) and the slope sandstones bodies (CAT).



gradação no estágio final de preenchimento de cada *canyon* (C1-C4) na região da plataforma externa e talude. Tais corpos são aqui interpretados como sistemas deltaicos, cuja progradação é marcada por uma superfície de *downlap* entre um *canyon* já preenchido e a incisão do *canyon* subsequente (fig. 6). Associado a esta progradação deltaica observa-se, na margem da plataforma-talude, a presença de uma série de pequenos canais paralelos entre si que serviram de condutos para formar corpos arenosos na parte superior do

talude (CAT na figura 5). Tais depósitos são aqui interpretados, ainda, como a expressão de cheias fluviais episódicas ocorridas nos estágios finais desta sedimentação fluvial e deltaica.

elementos deposicionais do sistema lamoso

Deltas de margem de plataforma, superfícies erosivas de alto ângulo, cunhas de acreção sedi-

mentar e depósitos de paraconglomerados suportados por matriz argilosa são os principais elementos deposicionais do Sistema Lamoso (fig. 4).

deltas de margem de plataforma (DM) e superfícies erosivas de alto ângulo (EA)

Desde a fase tardia do trato de nível de mar baixo até a fase tardia de nível de mar alto a seção sedimentar é marcada por forte tendência agradacional na região externa da plataforma (fig. 2). Em detalhe, contudo, observa-se que tal estaqueamento é formado, na verdade, por uma seqüência de sistemas deposicionais retrogradantes, agradantes e progradantes, truncados, nas suas porções distais, por superfícies erosivas de alto ângulo (fig. 4). Nos tratos de mar baixo e de mar alto, tais sistemas foram depositados em zona de plataforma estreita e rasa, com profundidades de água de no máximo de 30 m, conforme modelado por Moreira (2000a) em sua tese de doutoramento, e aqui interpretados como sistemas deposicionais deltaicos, predomi-

nantemente argilosos, de margem de plataforma. Ressalta-se que os mesmos não ocorrem, nesta região externa da plataforma, apenas durante o estágio final do trato transgressivo, provavelmente porque migraram para regiões mais costeiras.

De qualquer forma, independentemente do trato em que se encontram, tais deltas são sistematicamente truncados por uma superfície erosiva de alto ângulo, provocada por deslizamentos de massa argilo-arenosa. Tais deslizamentos produziram fluxos gravitacionais de detritos que estão depositados na região de sopé de talude-bacia (Moreira 2000a), (fig. 4).

cunhas de acreção sedimentar (CA)

Frontalmente ao sistema deltaico, e sobre a superfície erosiva íngreme, o espaço deixado pela massa escorregada é preenchido por sedimentos argilosos como cunha de acreção sedimentar de forma cíclica (fig. 4). Este fenômeno ocorre no estágio tardio de mar baixo e durante a fase de nível de mar alto.

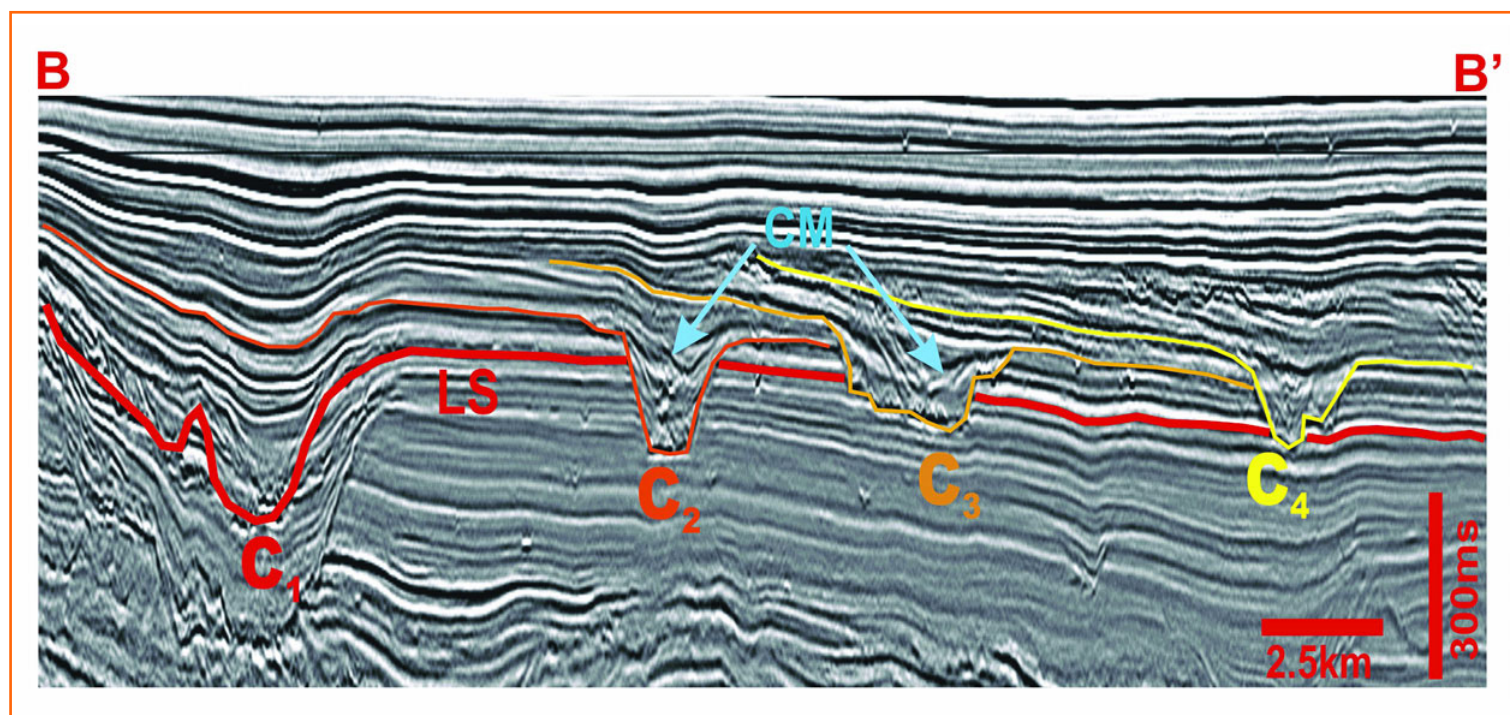


Figura 6 – Seção sísmica paralela à linha de borda de plataforma mostrando a posição diácrona dos canyons C1-C4.

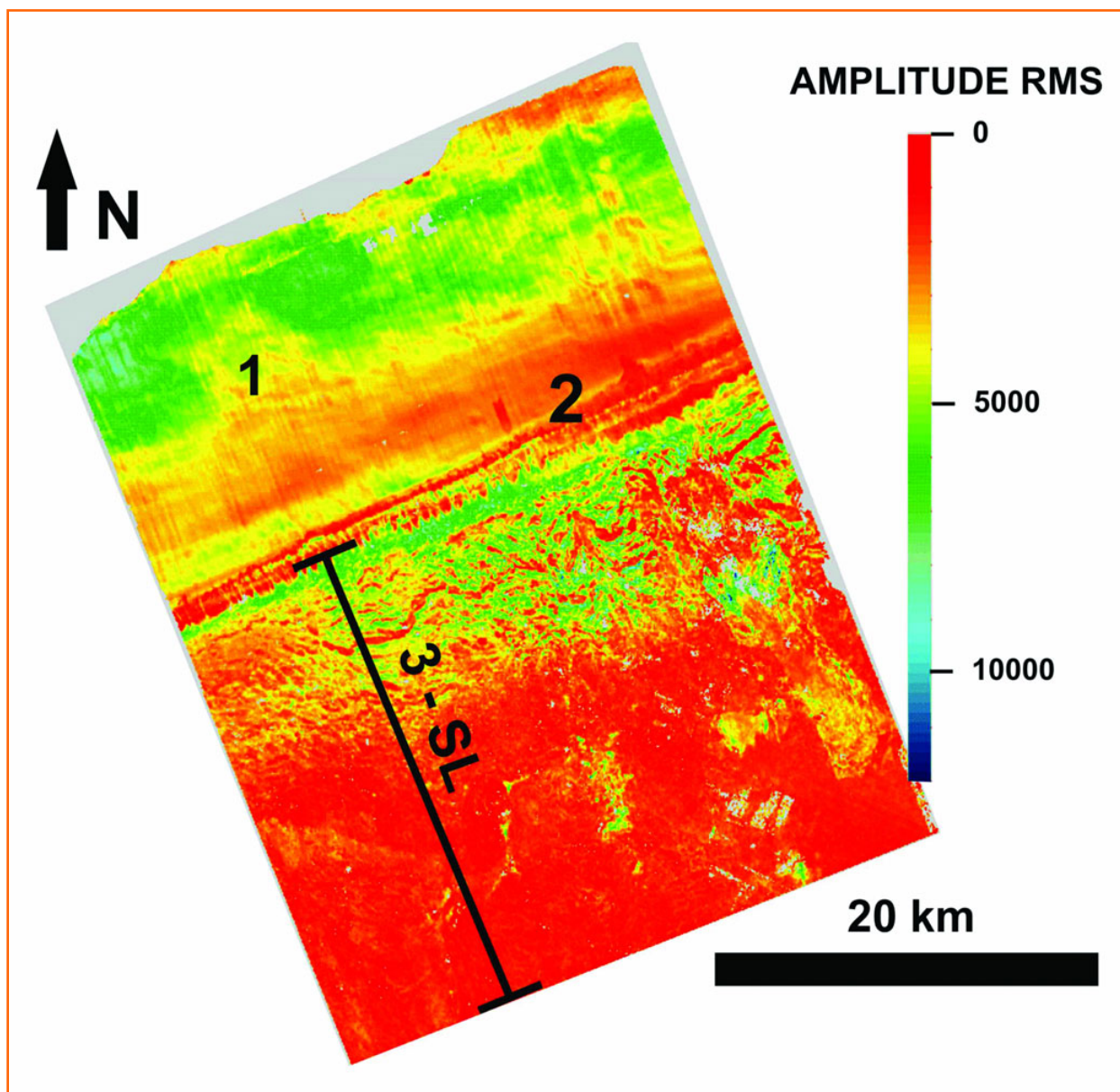
Figure 6 – Strike seismic section showing canyons C1-C4.

Figura 7

Mapa de amplitude RMS evidenciando os principais elementos deposicionais do Sistema Lamoso: (1) deltas arenosos de nível de mar alto provavelmente dominados por ondas; (2) borda de plataforma-talude retilínea e íngreme e (3) Sistema Lamoso.

Figure 7

RMS amplitude map showing the main depositional elements of the Muddy System: (1) Wave dominated sandy deltas; (2) Steep and rectilinear shelf-slope margin and (3) Muddy System.



sistema lamoso (SL)

Os corpos sedimentares formados a partir do deslizamento de massa sedimentar deltaica e prodeltaica são tabulares, adelgaçam-se contra o sopé do talude e se estendem por mais de 200 km ao longo do seu *strike* deposicional (figs. 4 e 7). *Canyons* e canais submarinos não são mais observados na região da plataforma externa-talude superior; a fonte que alimenta os sistemas de detritos é múltipla e linear, desenvolvida paralelamente à borda da plataforma, contrariamente às fontes pontuais (*canyons* e canais meandantes) e perpendiculares à plataforma do Sistema Arenoso.

O mapa de amplitude RMS mostrado na figura 7, envolvendo relíquias de depósitos deltaicos arenosos de plataforma e equivalentes gravitacionais de bacia, revela três domínios principais: (1) testemunho da zona de planície costeira com reentrâncias rasas e estreitas sugerindo a preservação das partes proximais dos sistemas deposicionais deltaicos, progradantes, do trato de mar alto; (2) corpos arenosos levemente curvilíneos depositados na plataforma externa e interpretados como sistemas de cordões arenosos dominados por ondas (praias) e, (3) Sistema Lamoso depositado no sopé do talude e na bacia.

Com base na configuração interna dos refletores, o Sistema Lamoso pode ser subdividido em:

fácies caótica proximal e fácies homogênea distal (fig. 7). A fácies caótica proximal é o registro dos deslizamentos sistemáticos a partir da desestabilização das partes frontais dos sistemas deltaicos de margem de plataforma. Tais depósitos sedimentares são formados predominantemente por paraconglomerados compostos por fragmentos de várias dimensões de argilitos, siltitos e arenitos intrabaciais e suportados por matriz argilosa. Pelo fato de possuírem expressiva quantidade de matriz, de terem uma aparente desorganização e de permanecerem totalmente à margem de estudos mais aprofundados em termos de fácies e de associação de fácies, são informalmente denominados de “caóticos”.

Mesmo sem registro em testemunhos de rocha, a fácies homogênea distal é facilmente caracterizada em perfis de imagem como um sistema rítmico de finas camadas (da ordem do centímetro) de arenitos muito finos, siltitos e argilitos. Tal fácies é interpretada, genericamente, como sistemas turbidíticos formados por correntes de turbidez de baixíssima densidade, geradas por transformações ocorridas durante o fluxo gravitacional da massa caótica.

conclusões

A região de talude-bacia da seqüência deposicional do Eoceno Inferior-Médio está preenchida por rochas siliciclásticas formadas, predominantemente, por fluxos gravitacionais de sedimentos. Estas são organizadas em dois sistemas deposicionais distintos aqui informalmente denominados de Sistema Arenoso e Sistema Lamoso.

O Sistema Arenoso foi depositado em nível de mar baixo, sendo a fonte principalmente constituída de sedimentos extrabaciais. Canais fluviais, *canyons* e canais submarinos e leques arenosos de bacia são os principais elementos deposicionais deste sistema. A evidência determinante para a compreensão do Sistema Arenoso é a presença de quatro *canyons* diácronos (C1-C4) que são responsáveis por importantes episódios de transferência de sedimentos para a bacia. Cada episódio é representado seqüencialmente pelas seguintes etapas:

a - escavação e formação do *canyon*, predominando zonas de *by-pass* de sedimentos no talude e deposição na região de bacia;

b - deposição da carga sedimentar na bacia formando grandes leques arenosos, amalgamados, com adelgaçamento contra a base do talude;

c - diminuição da energia dos fluxos gravitacionais de sedimentos, indicada pela retrogradação do sistema, depositando-se os sedimentos nas antigas zonas de *by-pass*. Isto provoca o início de preenchimento do *canyon* por meio de canais, que, em apenas alguns casos, atingem a bacia meandrando sobre o Sistema Arenoso já depositado;

d - implantação de sistemas deltaicos de margem de plataforma, sendo que apenas alguns fluxos, provavelmente ligados a cheias fluviais, conseguem atingir o talude por meio de canais que depositam pequenos leques arenosos no alto do talude. Na seqüência, densos fluxos gravitacionais de sedimentos movidos com alta energia e relacionados a novos episódios de enchentes fluviais escavam o *canyon* C2, reiniciando o episódio de sedimentação arenosa de bacia (SA2), e assim sucessivamente.

O Sistema Lamoso, formado predominantemente por sedimentos intrabaciais, é caracterizado pelos seguintes elementos deposicionais: deltas de margem de plataforma, superfícies erosivas de alto ângulo, cunhas de acreção sedimentar e depósitos de paraconglomerados suportados por matriz argilosa nas regiões de sopé de talude-bacia. A evidência determinante para a identificação do Sistema Lamoso é a presença recorrente de sistemas deposicionais deltaicos em zona de margem de plataforma, sistematicamente truncados nas suas porções frontais por superfície erosiva de alto ângulo. Os seguintes estágios são observados na formação do Sistema Lamoso:

a - formação de deltas de margem de plataforma em nível de mar alto;

b - desestabilização das partes frontais do sistema deltaico, com deslizamento de massa e geração de potentes fluxos gravitacionais coesos de detritos;

c - deposição, no sopé de talude-bacia, de espessos pacotes de paraconglomerados suportados por matriz argilosa, informalmente denominados de “caóticos”;

d - cada estágio de formação de depósito caótico é complementado pela deposição de cunha de acreção sedimentar no talude e pela reconstrução do delta argiloso de margem de plataforma.

Durante o estágio final da fase transgressiva, somente sedimentos finos, hemipelágicos, alcançam a região de talude-bacia. Estes sedimentos são raramente preservados da forte ação erosiva dos fluxos gravitacionais de sedimentos que formam o Sistema Lamoso. Quando preservados, tais sedimentos representam a única rocha com qualidade selante para possíveis acumulações de petróleo no Sistema Arenoso.

O Sistema Lamoso pode ser subdividido em dois diferentes padrões segundo seus atributos sísmicos: o padrão caótico, que representa depósitos de paraconglomerados argilosos, e o padrão homogêneo, distal, que é formado por uma seqüência rítmica de arenitos muito finos, siltitos e argilitos, transportados em turbulência por correntes de turbidez de baixíssima densidade.

agradecimentos

A Ana Zélia N. de Barros, Eduardo T. C. Abdalla, Lemuel de Paula, Luís F. Rodrigues e aos demais colegas da UN-EXP/ATEX-S/PN que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

referências bibliográficas

BOUMA, A. H. Introduction to submarine fans and related turbidite systems. In: BOUMA, A. H.; NORMARK, W. R.; BARNES, N. E. (ed.). **Submarine fans and related turbidite systems**. New York: Springer, 1985a. p. 3-5.

_____; NORMARK, W. R.; BARNES, N. E. COMFAN: needs and initial results. In: _____; _____; _____ (ed.). _____. New York: Springer, 1985b. p. 7-11.

CARMINATTI, M.; SCARTON, J. C. Sequence stratigraphy of the oligocene turbidite complex of the Campos

Basin, offshore Brazil: an overview. In: WEIMER, P.; LINK, H. (ed.). **Seismic facies and sedimentary processes of submarine fan and turbidite systems**. New York: Springer, 1991. p. 241-246.

KOLLA, V.; BOURGES, P. H.; URRUTY, J. M.; SAFA, P. Evolution of deep-water tertiary sinuous channels offshore Angola (west Africa) and implication for reservoir architecture. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**. Tulsa, Okla., v. 85, p. 1373-1406, 2001.

LOWE, D. R. Sediment gravity flows ii: depositional models with special reference to the deposits of high density turbidity turbidity currents. **J. Sediment. Petrol.**, [s.l.], v. 52, p. 279-297, 1982.

MELLERE, D.; PLINK-BJÖRKLUND, P.; STEEL, R. Anatomy of shelf deltas at the edge of a prograding eocene shelf margin, spitsbergen. **Sedimentology**, Oxford, v. 49, p. 1181-1206, 2002.

MOHRIAK, W. U.; MACEDO, J. M. Estratigrafia e evolução estrutural da área norte da Bacia de Santos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 3., 1993, Rio de Janeiro. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 1993. p. 19-26.

MORAES JÚNIOR, J. J.; BRANDÃO, J. A. S.; PORSCHE, E.; GUARDADO, L. R.; TOLEDO, J. B.; MACIEL, W. B.; CRUZ, W. M.; FIGUEIREDO, M. V. L.; AZAMBUJA, A. R. Bacia de Santos, pólo sul: perspectivas de uma nova província produtora. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E CONEXPO ARPEL, 5., 1994a, Rio de Janeiro. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: [s.n.], 1994a. P. 1-12. Tt 281.

_____; TOLEDO, J. B.; GUARDADO, L. R. Esforço exploratório e investimentos na Bacia de Santos: uma imagem atualizada e visão do futuro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994b, Camboriú, Santa Catarina. **Trabalhos apresentados...** Santa Catarina: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994b. p. 308-310.

MOREIRA, J. L. P. **Stratigraphie sismique et modélisation stratigraphique des depots de l'éocène du Bassin de Santos (marge brésilienne)**. França: Université de Rennes, 2000a.

_____; JOSEPH, P.; NALPAS, T.; GRANJEON, D. The

eocene Santos Basin: sequence stratigraphy interpretation and 3d stratigraphic modelling. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, SPECIAL SYMPOSIUM, 6., 31., 2000, Rio de Janeiro. **General Proceedings...** Rio de Janeiro: [s.n.], 2000b. 1 CD-ROM.

MUTTI, E.; NORMARK, W. R. An integrated approach to the study of turbidite systems. In: WEIMER, P.; LINK, M. H. (ed.). **Seismic facies and sedimentary processes of submarine fans and turbidite systems**. New York: Springer, 1991. p. 75-106.

_____. **Turbidite sandstones**. Parma: Università di Parma. Instituto di Geologia: Roma: Agip, 1992. 275 p.

_____; TINTERRI, R.; BENEVELLI, G.; DI BIASE, D.; CAVANA, G. Deltaic, mixed and turbidite sedimentation of ancient foreland basins. **Marine and Petroleum Geology**, Guildford, 2003.

NORMARK, W. R.; PIPER, D. J. W.; HESS, G. R. Distributary channels, sand lobes and mesotopography of a submarine fan, California borderland, with applications to ancient fan sediments. **Sedimentology**, Oxford, v. 26, p. 749-774, 1979.

PEREIRA, M. J.; BARBOSA, C. M.; AGRA, J.; GOMES, J. B.; ARANHA, L. G. F.; SAITO, M.; RAMOS, M. A.; CARVALHO, M. D.; STAMATO, M.; BAGNI, O. Estratigrafia da Bacia de Santos: análise de seqüências, sistemas deposicionais e revisão litoestratigráfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. **Anais...**São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1986. v.1, p. 65-79.

_____; MACEDO, J. M. A Bacia de Santos: perspectivas de uma nova província petrolífera na plataforma continental sudeste brasileira. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 3-11, 1990.

PIPER, D. J. W.; NORMARK, W. R. Sandy fans: from Amazon to hueneme and beyond. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**. Tulsa, Okla., v. 85, p. 1407-1438, 2001.

PORESBSKI, S. J.; STEEL, R. J. Shelf-margin deltas: their stratigraphy significance and relation to deepwater sands. **Earth-Science Reviews**, Amsterdam, v. 62, p. 283-326, 2003.

POSAMENTIER, H.W.; JERVEY, M. T.; VAIL, P. R. Eustatic

controls on clastic deposition i: conceptual framework. In: WILGUS, C. K.; HASTINGS, B. S.; KENDALL, C. G. C.; POSAMENTIER, H. W.; ROSS, C. A.; VAN WAGONER, J. C. (ed.). **Sea-level changes: an integrated approach**. Houston: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1988. p. 109-124. (Special publication, 42).

SHANMUGAM, G. High density turbidity currents: are they sandy debris flow? **Journal Sedimentology Research**, Okla, v. 66, p. 910-937, 1996.

TINTERRI, R.; DRAGO, M.; CONSONNI, A.; DAVOLI, G.; MUTTI, E. Modelling subaqueous bipartite sediment gravity flows on the basis of outcrop constrains: first results. **Marine and Petroleum Geology**, Guildford, 2003.

VAIL, P. R.; MITCHUM, R. M.; TODD, R. G.; WIDMIER, J. M.; THOMPSON, S. S.; SANGREE, J. B.; BUBB, J. N.; HATLELID, W. G. **Seismic stratigraphy** and global changes of sea level. In: PAYTON, C. E. (ed.). **Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration**. Tulsa, Okla.: American Association of Petroleum Geologists, 1977. p. 49-205. (Memoir, 26).

VAN WAGONER, J. C.; POSAMENTIER, H. W.; MITCHUM, P. R.; VAIL, P. R.; SARG, J. F.; LOUITT, T. S.; HANDBOL, J. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: WILGUS, C. K.; HASTINGS, B. S.; KENDALL, C. G. C.; POSAMENTIER, H. W.; ROSS, C. A.; VAN WAGONER, J. C. (ed.). **Sea-level changes: an integrated approach**. Houston: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1988. p. 39-46. (Special publication, 42).

expanded abstract

The study of deposits originated by sedimentary gravity flows in continental margin basins has systematically underrated the stratigraphic context and paleogeography in which these occur. As a result, several types of siliciclastic systems occurring both in shallow and deep water have improperly been described as turbidite deposits. In the same way, sand/shale maps of sedimentary gravity flow deposits have been elaborated without any consideration about their nature. This practice tends to provide incorrect information on the distribution of the reservoir and seal rocks, resulting in possible detriment to the economic geology and oil exploration.

Sedimentary gravity flows were responsible for the formation of the main deposits in the slope-basin of the Lower-Middle Eocene in the northern part of the Santos basin. Using the concepts of Sequence Stratigraphy, the objective of this study is to show: 1) the paleogeographic distribution of a 3rd order depositional sequence and, 2) the genesis and the stratigraphic relationship of the two principal siliciclastic depositional systems formed by sedimentary gravity flows: Sandy System and Muddy System.

The erosional basal unconformity surface of Lower Eocene age represents a paleosurface on which was deposited the Lower-Middle Eocene depositional sequence. The paleogeography at the time of this surface is easily observed on all seismic attributes maps, on which can be inferred the areas of the platform with rectilinear margins, slope and basin. This sequence is characterized by a progradational phase that is formed during the lowstand sea level, and a subsequent aggradational phase that represents the transgressive and highstand sea level.

The Sandy System, deposited during sea level fall, is formed by sedimentary gravity flows mainly driven by fluvial floods. Fluvial channels, canyons and meandering submarine channels and sandy bodies are the main depositional elements forming the Sandy System. The key evidence for the understanding of this system is the presence of four diachronous canyons that are responsible for important episodes of the sediments transference to the basin. Each episode is represented sequentially by the following stages.

(a): canyon development, wherein predominate by-pass zones of sediments on the slope and the deposition of sediments in the basin;

(b): deposition of sediment load in the basin for-

ming large sandy bodies, coalescing with pinch-out against the base of the slope;

(c): reduction in the energy of the sedimentary gravity flows indicated by the retrograding of the system, there being deposited the sediments in the older by-pass zones. This caused canyon in-fill as meandering channels, which, in a few cases, reached the basin by meandering over the previously deposited Sand System;

(d): implantation of deltaic systems on the shelf margin, notwithstanding that only a few flows, probably associated with fluvial floods, managed to reach the slope by means of channels from which were deposited small sandy fans on the upper-slope. In the sequence, dense gravity flows of sediments moved under high-energy conditions, related to new episodes of fluvial floods, form the second canyon, thus restarting the second episode of sandy sedimentation in the basin, and so on successively.

The sandstones that comprised the Sandy System are generally porous and highly permeable thus forming excellent reservoir rocks.

The Muddy System, deposited during a highstand sea level, consists mainly of sedimentary gravity flow deposits of intra-basin sediments. Shelf-margin deltas, steep erosion surfaces, sedimentary accretion wedges and muddy-supported conglomerates at the base of the slope-basin, are the depositional elements that characterize the Muddy System. The determinate evidence for the identification of this system is the reoccurrence of deltaic depositional systems at the shelf-margin, systematically truncated at the front by a high angle erosive surface. The following stages in the formation of the Muddy System were observed:

(a): the formation of deltas at the shelf-margin in the highstand sea level;

(b): destabilization of the frontal parts of the deltaic system with mass sliding and the formation of large muddy gravity flows;

(c): Muddy System deposition at the base of the slope-basin;

(d): each stage in the deposition of a chaotic deposit is accompanied by the deposition of an accretion wedge on the slope, and by the rebuilding muddy delta shelf-margin and slope;

The Muddy System may be subdivided into two different types based on seismic characteristics: the chaotic type, consisting of muddy matrix-supported conglomerate; and a distal homogeneous type, consisting of a rhythmic sequence of very fine grained

sandstone, siltstone and argillite, transported under turbulent conditions by low-density turbidity currents.

When preserved from the strong erosive action of gravity flows constituting the Muddy System, hemipelagic sediments of the transgressive phase comprise the only rocks with the sealing properties for oil accumulation in the Sandy System.

autor author



Jobel Lourenço Pinheiro Moreira

Unidade de Negócio de Exploração

Ativo de Exploração Santos / Pólo Norte

e-mail: jobel@petrobras.com.br

Jobel Lourenço Pinheiro Moreira nasceu em 1956 na cidade de Belém, Pará, Brasil. Gradou-se em Geologia pela Universidade Federal do Pará, no ano de 1979. Ingressou na Petrobras em 1980, na área operacional na Bacia de Campos, onde atuou até 1988. De 1989 a 1996 trabalhou no Grupo de Interpretação Exploratória da Bacia de Campos, gerando dezenas de locações exploratórias nas áreas de Baracuda, Caratinga, Marlim Sul e Marlim Leste. Adquiriu seu diploma de Doutor em Ciência da Terra (Geologia) pela Universidade de Rennes, França, em 2000. Desde então, trabalha no Grupo de Interpretação Exploratória da Bacia de Santos, gerando locações exploratórias, sendo responsável pela área de Estratigrafia, sistemas deposicionais e sistemas petrolíferos.