

Estratigrafia de seqüências das formações Taciba e Rio Bonito (Membro Triunfo) na região de Mafra/SC, leste da Bacia do Paraná

Sequence stratigraphy of Taciba and Rio Bonito formations in Mafra/SC area, eastern Paraná Basin

Joel Carneiro de Castro | Luiz Carlos Weinschütz | Marília Rodrigues de Castro

resumo

Seis seqüências deposicionais nas formações Taciba e Rio Bonito (Membro Triunfo “inferior”) são definidas e mapeadas em sondagens rasas do norte catarinense. Cada seqüência é formada por dois tratos de sistemas: um inferior, arenoso (mar baixo) e um superior, argiloso ou lamítico (mar alto). Das três seqüências da Formação Taciba, a basal S_0 só é totalmente conhecida em subsuperfície profunda, onde a espessa seção de arenitos turbidíticos do trato inferior, Membro Rio Segredo, mostra adelgaçamento para leste e chega a se ausentar na faixa aflorante. A seqüência S_1 revela grandes variações de espessura e fácies de seus arenitos, desde delgado sistema flúvio-estuarino a espesso sistema turbidítico de leque canalizado; o trato superior argiloso da seqüência, do mesmo modo que o seu congênere de S_0 , exibe sistema marinho no poço PP-11, ou marinho com influência glacial no PP-10, a sul-sudeste. A seqüência S_2 apresenta espesso corpo arenoso de origem marinha rasa, restrito a uma única sondagem (PP-11); o trato superior é dominado por siltitos maci-

ços de suspensão (*slurry*), intercalados com tempestitos delgados/distais. Nas seqüências do Triunfo “inferior” (ou “transição Taciba-Triunfo”), o trato inferior de S_3 marca a chegada de arenitos de frente deltaica medial a proximal, sistema esse também característico da seqüência S_4 : nota-se nesses sistemas um sentido norte-sul de progradação e espessamento, do PP-12 (planície a frente deltaica proximal) ao PP-9 (frente deltaica medial). O trato superior dessas seqüências é formado por diamictitos, com exceção da seqüência S_3 , com folhelhos e siltitos marinhos do poço PP-12 para norte. Ao contrário do sentido N-S das regressões deltaicas, os diamictitos marinhos “transgressivos” provêm de fonte glacial a sul-sudeste. A seqüência S_5 consiste em depósitos fluviais (PP-12) e de dois ciclos transgressivos, com sistemas flúvio-estuarinos a marinhos; uma exceção é o poço PP-10, que apresenta sistemas de deglaciação e marinho.

(originais recebidos em 10.03.2005)

Palavras-chave: Bacia do Paraná | Formação Taciba | Formação Rio Bonito | estratigrafia de seqüências | Paleogeografia

abstract

The Taciba and Rio Bonito (“lower” Triunfo Mbr) formations are divided into six depositional sequences based on cores, gamma-ray and electrical logs from shallow drillings from northern Santa Catarina State. Each sequence is formed by two systems tracts, a lower one, sandy (lowstand) and an upper one, shaly (highstand). The Taciba Formation has three sequences, S_0 to S_2 ; sequence S_0 has a thick turbidite sandstone at the base (Rio Segredo Member) that pinches out towards the eastern margin and even disappears in the Mafra outcrop area. Sequence S_1 varies from a thin fluvial-estuarine system to a thick turbidite sandstone of a channelized fan system; S_1 upper shaly system tract is marine in well PP-11, and it is glacially-influenced in well PP-10. Sequence S_2 is a thick sandstone body of shallow marine origin, but restricted to one well (PP-11); its upper shaly tract is dominated by massive siltstones intercalated with thin, distal tempestites. The “lower” Triunfo Member (or “Taciba-Triunfo transition”) begins with the arrival of deltaic clastics of sequence S_3 lower tract, coarsening-up from medial- to proximal delta front sandstones. Sequence S_4 is quite similar to S_3 , both showing sandstone progradation from north to south, as opposed to the southwest-sourced transgressive diamictites. Sequence S_5 consists of fluvial deposits at well PP-12, and two transgressive cycles from wells PP-11 to PP-9, each one of them composed of fluvial-estuarine to marine systems. Well PP-10 is an exception, where the lower cycle presents deglaciation to marine deposits.

(expanded abstract available at the end of the paper)

Keywords: : Paraná Basin | Taciba Formation | Rio Bonito Formation | sequence stratigraphy | Paleogeography

introdução

Na margem leste da Bacia do Paraná, a porção sul-paranaense e norte-catarinense representa um contexto estratigráfico bastante significativo no que diz respeito aos grupos Itararé e Guatá (Permocarbonífero), associado a um grande número de informações de subsuperfície e de afloramentos.

Das três formações que compõem o Grupo Itararé, Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul,

as duas primeiras têm suas seções-tipo naquela área (Schneider *et al.* 1974), devendo-se lembrar a correspondência aproximada entre aquelas unidades e as formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba, definidas em subsuperfície por França e Potter (1988). A área dispõe de três sondagens profundas da Petrobras, que objetivaram aqueles grupos como principais prospectos da bacia; mais recentemente, seis sondagens rasas e testemunhadas possibilitaram realizar uma significativa amostragem do Grupo Itararé na região de Mafra-Rio Negro, margem leste.

No Grupo Guatá destaca-se a Formação Rio Bonito, alvo de numerosas sondagens testemunhadas/perfiladas da CPRM para a pesquisa de carvão, e dos três membros que representam a unidade – Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis – os dois primeiros têm suas seções-tipo na área em epígrafe.

Este estudo utiliza os dados de subsuperfície para caracterizar a evolução cronoestratigráfica das formações Taciba (porção superior) e Rio Bonito (Membro Triunfo). Na primeira unidade são investigadas três seqüências deposicionais que a representam, S_0 , S_1 e S_2 , esta última de ocorrência local (poço PP-11); o Membro Triunfo é dividido em duas partes, sendo a inferior designada informalmente “transição Taciba-Triunfo” e constituída de três seqüências deposicionais de alta freqüência, S_3 , S_4 e S_5 . Castro *et al.* (1999) nomearam originalmente tais seqüências no norte catarinense, mas diferindo do estudo aqui apresentado em dois pontos: as atuais S_4 e S_5 correspondem à “ S_4 ” daqueles autores, e a seqüência S_2 é agora restrita ao poço PP-11, sem correspondência nos poços vizinhos.

Assim, objetiva-se, aqui, compreender a evolução glacial Taciba ao pós-glacial Triunfo, por meio da caracterização e mapeamento de seis seqüências deposicionais em subsuperfície rasa, e da extensão dessas seqüências às sondagens profundas do interior da bacia.

base de dados e métodos

Os dados que embasam o estudo são testemunhos das sondagens rasas PP-9 a PP-12 (fig.1),

que foram descritos e fotografados de modo a se construírem perfis verticais de texturas e estruturas sedimentares e assim identificar as fácies, sucessões de fácies, tratos de sistemas e seqüências deposicionais, bem como suas respostas nos perfis raio-gama e elétrico. Os perfis verticais daquelas sondagens são cronocorrelacionados por meio de uma seção estratigráfica, possibilitando efetivar o mapeamento de seis seqüências deposicionais no intervalo da Formação Taciba ao Membro Triunfo-inferior (“transição Taciba-Triunfo”). A seqüência basal S_0 só foi amostrada em sua porção superior através das sondagens PP-10 e PP-11. As outras duas seqüências Taciba têm uma porção inferior arenosa (S_1) ou arenossilosa (S_2), e uma porção superior argilosa. As três seqüências Triunfo são consideradas de alta freqüência (Mitchum Jr. e Van Wagoner, 1991) e com uma estrutura simples: um trato de sistemas inferior, arenoso, “de mar baixo”, e um trato de sistemas superior, argiloso ou lamítico, de “mar alto”. Tal estrutura é comparável à de um ciclo regressivo-transgressivo R-T (Galloway, 1989).

Esse arcabouço cronoestratigráfico é estendido ao interior da Bacia do Paraná por meio de seção ligando o PP-11 aos poços profundos da Petrobras (1-CN-2-SC ao 2-PUST-1-SC), e assim obtendo-se um painel correlativo regional das formações Taciba e Rio Bonito.

contexto estratigráfico

Em subsuperfície, o Grupo Itararé é formado por três grandes ciclos de afinamento ascendente (conglomerado, arenito, diamictito, ritmito, siltito e folhelho), que foram formalizados como formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba (França e Potter, 1988). Tais unidades correspondem aproximadamente às formações Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul, de Schneider *et al.* (1974); a única diferença é quanto ao posicionamento do marco “Folhelho Lontras”, no topo da Formação Campo Mourão (França e Potter, 1988) ou na base da Formação Rio do Sul (Schneider *et al.* 1974). A Formação Taciba compreende uma seção arenosa na base (Membro Rio Segredo),

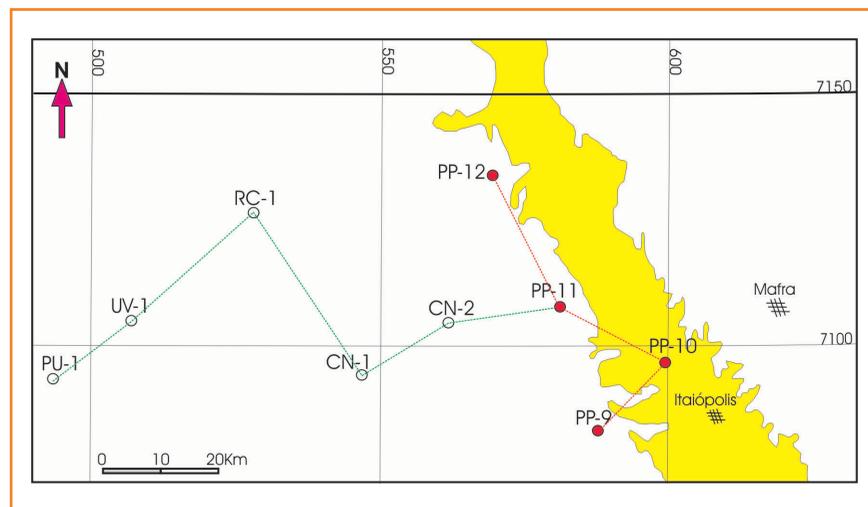


Figura 1

Mapa de localização das sondagens e seções estratigráficas, com os poços rasos testemunhados da região de Mafra/SC, PP-9 a PP-12, e os poços profundos 2-PUst-1-SC a 1-CN-2-SC. Em amarelo, a faixa aflorante da Formação Rio Bonito.

Figure 1

Location map in Mafra region, northern Santa Catarina, showing the shallow cored wells PP-9 to PP-12 and deep wells 2-PUst-1-SC to 1-CN-2-SC. The outcrop belt of Rio Bonito Formation is shown in yellow.

sobreposta por diamictito (Membro Chapéu do Sol) e por ritmito, siltito e folhelho (Membro Rio do Sul) (França e Potter, 1988). O Grupo Guatá é representado pelas formações Rio Bonito e Palermo, a primeira subdividida nos membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis (Schneider *et al.* 1974). São investigados, aqui, a Formação Taciba e o Membro Triunfo-“inferior”.

A seção estratigráfica da figura 2 passa por poços da margem leste da bacia, do 1-CN-2-SC, próximo à faixa de afloramentos, até o 2-PUST-1-SC, mais para o interior da bacia; nessa seção está incluído o poço PP-11, que a conecta com a seção passando pelas sondagens rasas PP-12 a PP-9. A presente correlação detalha aquelas apresentadas anteriormente em Schneider e Castro (1975) e Castro (1991).

Na Formação Taciba, destaca-se o corpo arenoso basal, Membro Rio Segredo, que se adelgaça para leste e é sucedido por espessa seção pelítica do Membro Rio do Sul. Esse conjunto constitui uma seqüência deposicional, informalmente designada S_0 , que foi amostrada em sua porção mais superior através das sondagens rasas PP-10 e PP-11. Duas outras seqüências da Formação Taciba, cada qual formada por constituintes arenoso e pelítico, são identificadas no PP-11: somente a inferior (S_1) se estende para dentro da bacia, enquanto a S_2 é lenticular, de natureza local (fig. 2).

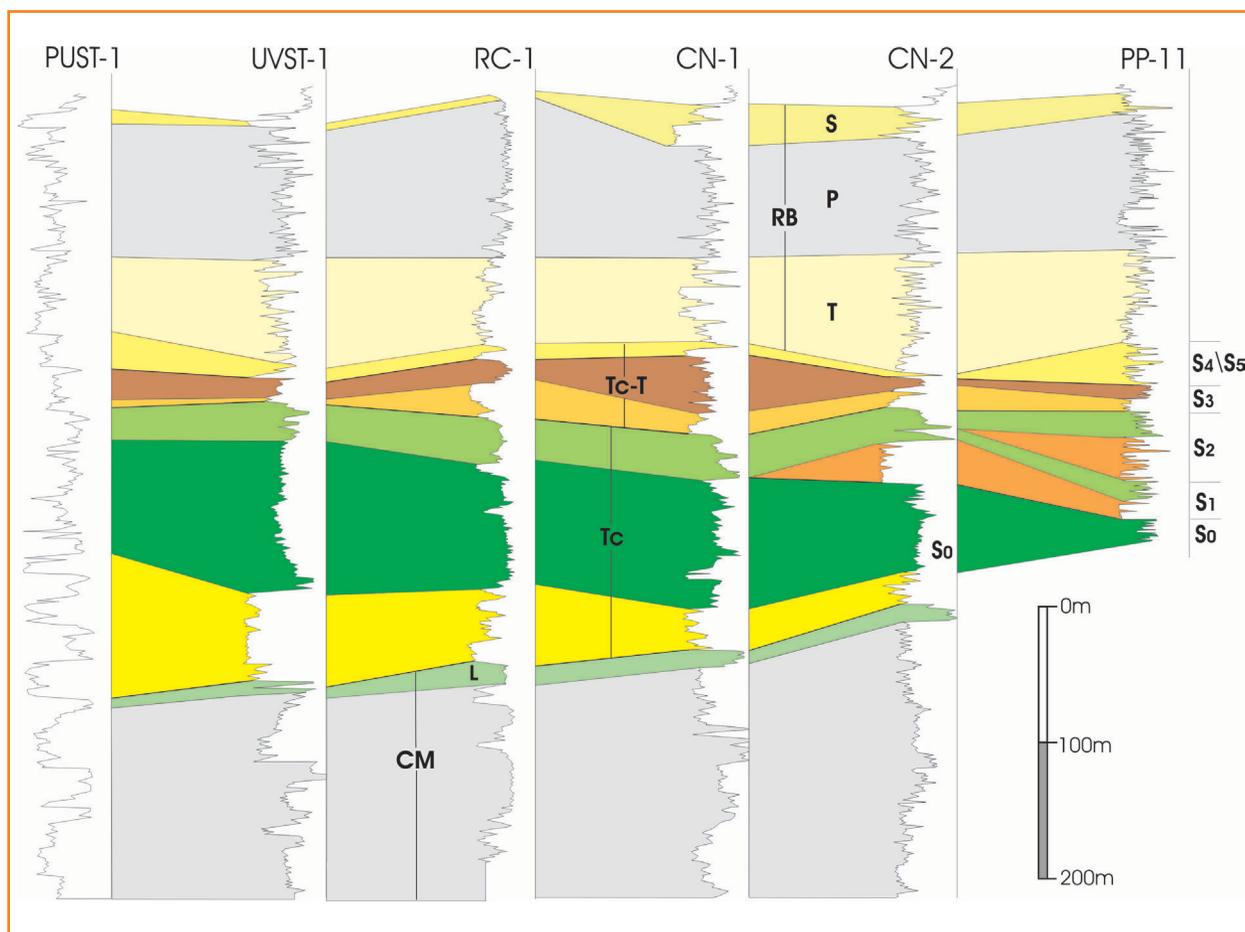
O Membro Triunfo é dividido em dois intervalos, um inferior, designado informalmente “Transição Taciba-Triunfo”, e um superior, que não é

Figura 2

Seção estratigráfica entre os poços profundos PUST-1 a CN-2, e o poço raso PP-11; datum no topo do Membro Triunfo: CM, Formação Campo Mourão; Tc, Formação Taciba com as seqüências S₀ a S₂; Tc-T, "transição Taciba-Triunfo" com as seqüências S₃ a S₅; RB, Formação Rio Bonito, com membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis (T, P, S).

Figure 2

Stratigraphic cross-section with deep wells PUST-1 to CN-2, and shallow well PP-11; datum at the top of Triunfo Member. CM, Campo Mourão Formation; Tc, Taciba Formation with sequences S₀ to S₂; Tc-T, "Taciba-Triunfo transition" with sequences S₃ to S₅; RB, Rio Bonito Formation with members Triunfo, Paraguaçu and Siderópolis (T, P, S).



objeto deste trabalho. Na base do Membro Triunfo destaca-se a primeira seqüência deltaica típica, que junto ao diamictito "transgressivo" que lhe é sobreposto forma a seqüência S₃; tal "delta basal" é considerado mais velho do que o seu correspondente na região de Rio do Sul (Castro, 1991). As outras duas seqüências da "transição Taciba-Triunfo", mapeadas em subsuperfície rasa (S₄ e S₅), são indivisas para o interior da bacia (fig. 2).

Deve-se destacar que tal arcabouço cronoestratigráfico de seqüências foi proposto inicialmente por Castro *et al.* (1999), exceto quanto à "seqüência 4", agora subdividida em S₄ e S₅; o atual Triunfo "superior" foi dividido por aqueles autores nas "seqüências 5 e 6". Deve-se também mencionar que a seqüência S₂ do PP-11, agora considerada lenticular, foi estendida erroneamente aos poços vizinhos por Castro *et al.* (1999).

seqüências deposicionais

Seis seqüências deposicionais são definidas através de suas fácies, sucessões faciológicas e tratos de sistemas, e correlacionadas regionalmente. É também importante a caracterização da seqüência basal S₀ que, apesar de só amostrada em seu trato superior, mostra características semelhantes às dos sistemas argilosos marinhos das seqüências sobrepostas S₁ e S₂; isso possibilita enquadrá-las em um mesmo sistema de mar alto típico para a Formação Taciba, contrastando com as fácies e sistemas apresentados pelo Membro Triunfo sobreposto. As seqüências S₀ a S₂ serão agora caracterizadas no poço PP-11 (fig 3), enquanto as seqüências S₃ a S₅ do Triunfo "inferior" serão ilustradas depois, através do poço PP-10.

seqüência S₀

O trato superior desta seqüência consiste em

duas litofácies principais, no poço PP-11 (fig. 3): a) folhelho com lâminas arenosas milimétricas e diminutos tubos (microbioturbação); (b) ritmitos de siltito arenoso gradando ou passando bruscamente (na forma de um *drape*) a folhelho, localmente com *spreiten* que se desloca do topo do estrato para o siltito arenoso abaixo. Não se distinguem tendências texturais, exceto por um pequeno afinamento ascendente no topo do intervalo.

Essas fácies indicam um ambiente marinho raso dominado por depósitos de suspensão, com alguma modificação através de bioturbação.

seqüência S₁

O sistema arenoso que representa a porção inferior de S₁, com 11 m de espessura, é formado por dois corpos amalgamados (fig. 3). O arenito da base exibe uma granodecrescência ascendente, desde grosso/seixoso na base, passando a grosso, maciço e espesso, e no topo a um arenito fino, laminado, com *drape* siltico, e a uma camada delgada de folhelho; nota-se no arenito grosso numerosas "manchas" circulares de porosidade, causadas por dissolução de cimento. O segundo corpo arenoso é médio e maciço, sem tendência textural ("caixa"; fig. 4). Trata-se de turbiditos provavelmente associados a um sistema de leque canalizado.

O trato superior "argiloso" apresenta três litofácies no PP-11: (a) siltito e folhelho comumente bioturbados, (b) ritmito de siltito arenoso com aleitamento gradacional ou *drape* siltico, e *spreiten* vertical, (c) ritmito de arenito fino maciço, com vestígios de laminação horizontal, e *drapes* silticos (fig. 4). Dois ciclos granocrescentes e um granodecrescente são observados (fig. 3), sugerindo um ambiente deltaico a marinho, dominado por lobos de suspensão.

seqüência S₂

No poço PP-11, o trato inferior de S₂ consiste em arenitos e folhelhos que ocorrem em dois intervalos, separados por um nível (18 cm) de conglomerado com seixos retrabalhados de embasamento, seguido de siltito com lâminas arenosas (ver fig. 3, topo da caixa 63). O intervalo

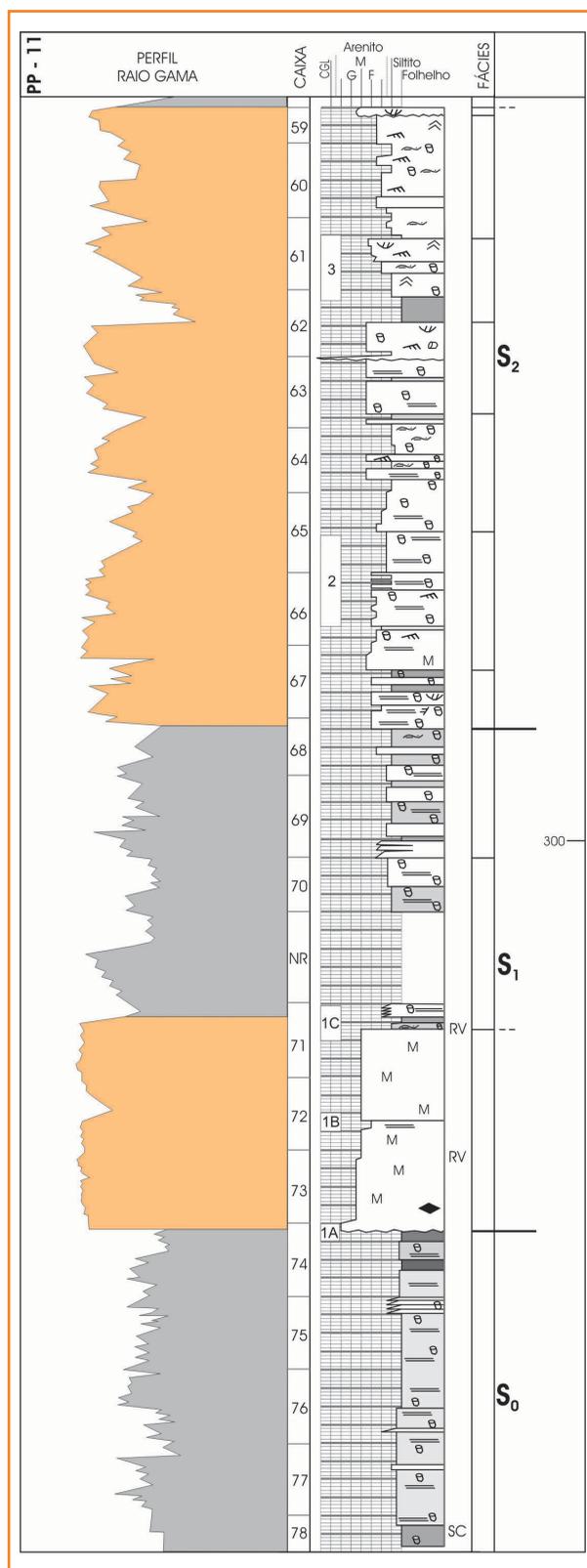


Figura 3

Perfil faciológico do poço PP-11, com as seqüências S₀ a S₂ da Formação Taciba. Notar posição das figuras 4 a 6, à esquerda do perfil sedimentológico; para identificação das estruturas, ver figura 7.

Figure 3

Facies log of well PP-11, with sequences S₀ to S₂ from Taciba Formation. Notice the position of figures 4 to 6 on the left hand side of the sedimentologic log. For structure identification purposes, see figure 7.

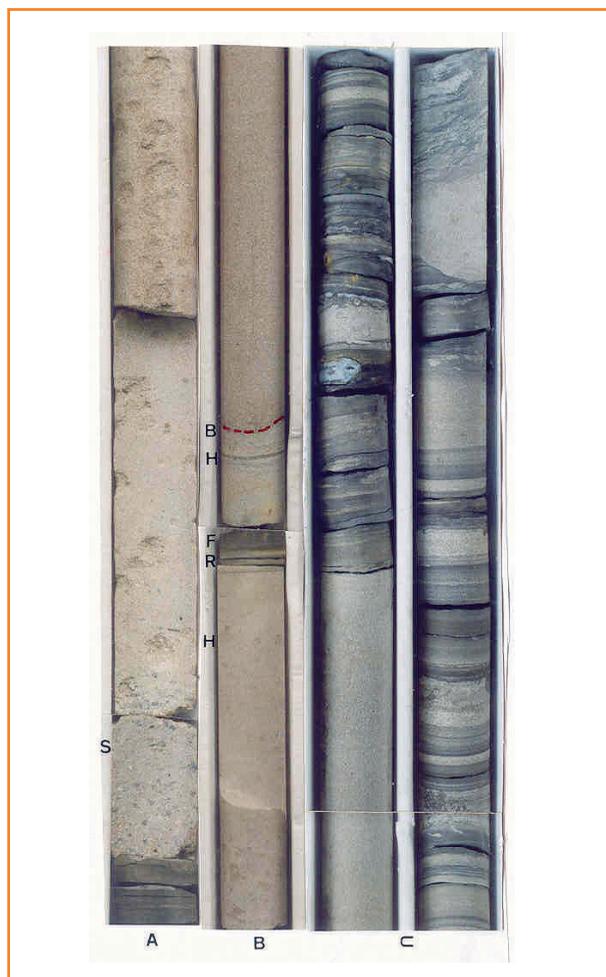
inferior é dominado por sucessões de afinamento ascendente a partir de três litofácies: (a) ritmito arenoso espesso, com arenito maciço, ou maciço a laminado, e mais raramente com lamina-

Figura 4

Seqüência S₁ no poço PP-11. (fig. 4a; caixa 74) Arenito maciço, grosso a seixoso na base (S), em contato com folhelho da seqüência anterior; áreas circulares porosas indicam dissolução de cimento poiquilotópico. (4b; caixa 72) Arenito com laminações horizontal e cruzada clino-ascendente (H, R), seguido de folhelho (F); notar contato basal de arenito maciço (B, em vermelho). (4c; caixa 71) Arenito maciço do topo do trato inferior é recoberto por folhelho e ritmito arenito-folhelho, com aleitamento gradacional e bioturbação, do trato superior da seqüência S₁.

Figure 4

Sequence S₁ in well PP-11. (4a; box 74). Coarse to pebbly, massive sandstone overlying shale from the previous sequence; the porous circular areas indicate poikilotopic cement dissolution. (4b; box 72). Horizontal and ripple drift cross-laminated sandstone (H, R) followed by shale (f); notice the basal contact of massive sandstone (B, red-colored). (4c; box 71). Top of massive sandstone (lower tract), which is overlain by shale and sandstone-shale rhythmite with graded bedding and bioturbation (S, upper tract).



ção cruzada e *drape* siltico; (b) ritmito delgado areno-argiloso ou siltico, com *spreiten* vertical formado a partir do topo da camada; (c) arenito e folhelho, com rara laminação ondulada truncante, freqüentemente bioturbado (fig. 5). O ritmito arenoso espesso apresenta alguma bioturbação para o topo do intervalo, próximo ao nível de conglomerado-siltito. Tais sucessões de afinamento ascendente indicam o gradual afogamento transgressivo de um lobo deltaico de suspensão.

O intervalo superior começa com arenito calcífero, fossilífero, bioturbado, com vestígios de laminação e estratificação cruzadas, e que é recoberto abruptamente por folhelho. Tal folhelho forma a base de uma sucessão de engrossamento ascendente, formada por: (a) ritmito arenito-siltito-folhelho bioturbado, seguido de (b) ritmito de arenito e *drape* argiloso com bioturbação e *spreiten*, que se espessa para cima e mostra laminação cruzada retrabalhada por ondas, e final-

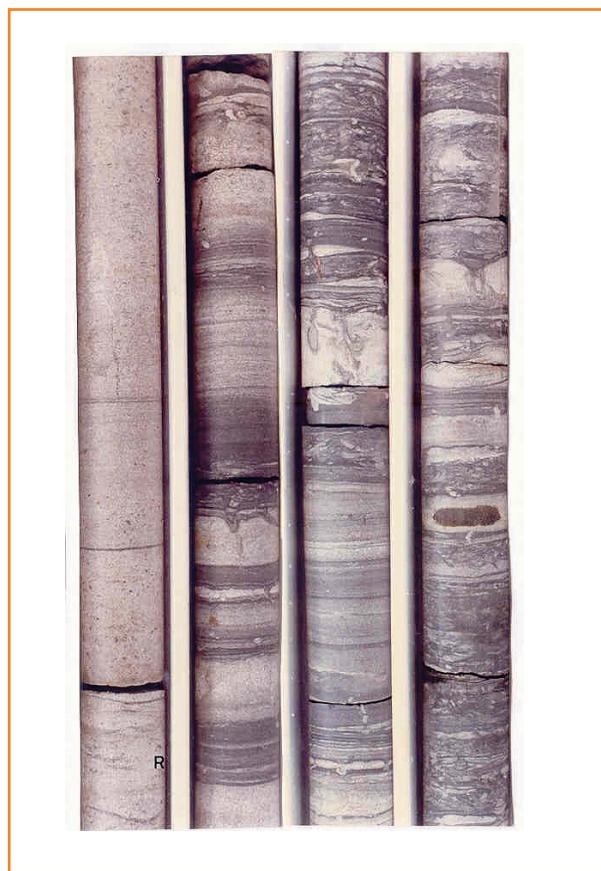


Figura 5 – Seqüência S₂, trato inferior. Arenito com laminação cruzada clino-ascendente (R), recoberto por sucessão gradocrescente de arenito maciço a laminado (raia esquerda), ritmito centimétrico/decimétrico de arenito, maciço a laminado, até folhelho, com *spreiten* vertical descendente a partir do topo da camada, e siltito bioturbado com lentes arenosas PP-11, caixas 66 e 65.

Figure 5 – Sequence S₂, lower tract. Ripple drift cross-laminated sandstone (R), overlain by a fining-upwards succession of massive to laminated sandstone (left side), cm- to dm-scale sandstone-shale rhythmite with vertical *spreiten*, and bioturbated siltstone with sandstone lenses. PP-11, boxes 66 and 65.

mente (c) arenito médio com estratificação cruzada e *drapes* argilosos para o topo (fig. 6).

Observa-se, na fácies intermediária, a presença de *drape* duplo (*mud couplet*), reforçando a sugestão de influência de marés na sedimentação. Outro ciclo granocrescente, semelhante ao anterior, completa a unidade. Enquanto o arenito fossilífero da base do intervalo indica ambiente marinho *shoreface*, as sucessões granocres-

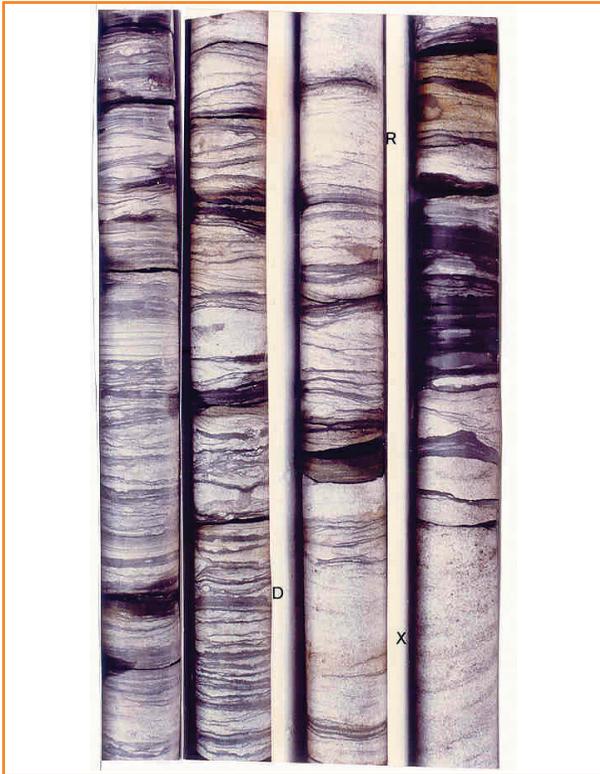


Figura 6 – Seqüência S_2 , trato inferior. Sucessão granocrescente, com ritmo arenito-folhelho, bioturbado (raia esquerda); arenito com laminação cruzada ou ondulada truncante, bioturbação e *spreiten* vertical, e *drapes* (D) de folhelho; ritmo mais arenoso, com laminação cruzada clino-ascendente (R) e *drapes* duplos de folhelho (*mud couplets*, terceira raia); arenito grosso com estratificação cruzada (X), passando no topo a arenito com laminação cruzada e *drapes* argilosos, e recobrimento final por folhelho. PP-11, caixas 62 e 61.

Figure 6 – Sequence S_2 , lower tract. Coarsening-upwards succession of bioturbated, sandstone-shale rhythmite (left side); bioturbated, truncated-undulate lamination sandstone with shale drapes (R); climbing ripple cross-laminated sandier rhythmite (R) with mud couplets; cross-bedded, coarse sandstone (X) passing upwards to cross-laminated sandstone with mud drapes, and finally to shale. PP-11, boxes 62 and 61.

Figura 7

Perfil faciológico do poço PP-10, com as seqüências S_3 a S_5 da “transição Taciba-Triunfo”. Notar posição das figuras 8 a 12, à esquerda do perfil sedimentológico.

Figure 7

Facies log of PP-10 well, with sequences S_3 to S_5 from the “Taciba-Triunfo transition”. Notice position of figures 8 to 12 in the left hand side of the sedimentologic log.

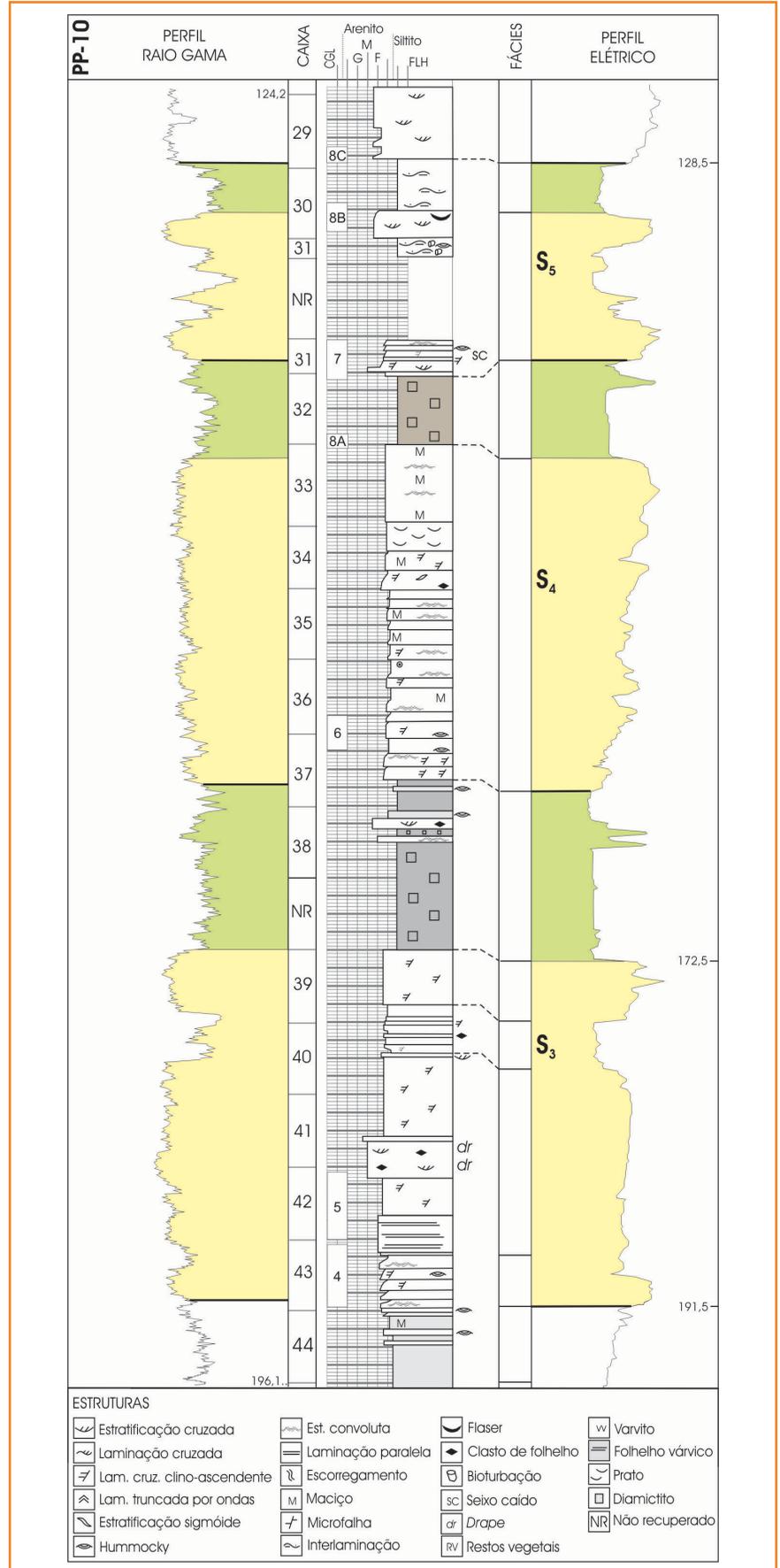


Figura 8

Base da Seqüência S_3 . Ritmito espesso ou delgado de arenito com estratificação convoluta (V) gradando a siltito maciço com pseudonódulos (P), intercalando-se com arenito a laminação cruzada clino-ascendente (R) ou laminação ondulada truncante (W). Arenito micáceo com laminação horizontal (raia direita). Poço PP-10, caixa 43.

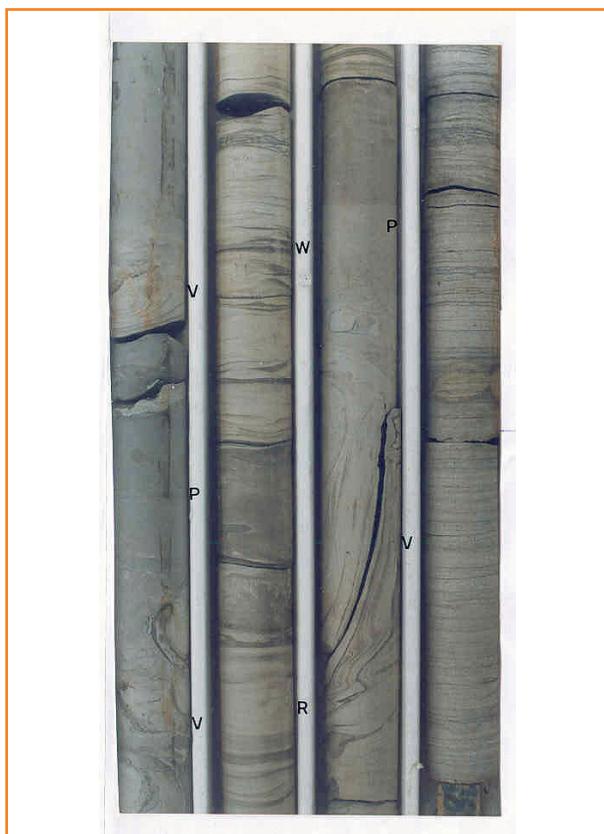


Figure 8

Basal sequence S_3 . Thick or thin sandstone rhythmite with convolute bedding (V) grading to massive siltstone with sandstone pseudonodules (P), intercalated with climbing ripple cross-laminated (R) or truncated undulate lamination (W) sandstones. Micaceous, horizontally laminated sandstone at far right. Well PP-10, box 43.

centes sugerem barras de marés. Deve-se lembrar que o arenito S_2 está restrito ao PP-11 (fig. 3).

O trato superior de S_2 , descrito no poço PP-10 é formado por ritmito delgado de arenito e folhelho, com gradação textural e marcas de carga, intercalado com camadas espessas de siltito maciço, com pseudonódulos arenosos e aspecto liquefeito. Para o topo ocorrem intercalações de ritmitos delgados de arenito gradando a folhelho, com laminações onduladas truncantes (tempestitos). Assim, os depósitos de suspensão tornam-se mais rasos para cima, dando lugar a retrabalhamento por ondas de tempestade. Tal ambiente prodeltaico-marinho raso antecede os depósitos de frente deltaica do Membro Triunfo, que já pertencem à próxima seqüência.

seqüência S_3

Aqui aparecem os primeiros depósitos deltaicos do Membro Triunfo (trato inferior de S_3), que constituem um ciclo regressivo-transgressivo R-T (fig. 7).



Figura 9 – Seqüência S_3 , trato inferior. Arenitos com laminação horizontal (raia esquerda), laminação cruzada clino-ascendente, e estratificação cruzada com drapes argilosos (X, raia direita). Poço PP-10, caixa 42.

Figure 9 – BSequence S_3 , lower tract. Sandstones displaying horizontal lamination (left side), ripple drift cross-lamination, and cross-bedding with mud drapes (X, far right). Well PP-10, box 42.

O ciclo inicia-se com delgado a espesso ritmito, formado por arenito muito fino com estratificação convoluta e siltito maciço com pseudonódulos arenosos (*slurry*), intercalado com arenito portando laminação cruzada clino-ascendente ou com laminação ondulada truncante (tempestito; fig. 8).

Tais depósitos de suspensão caracterizam uma frente deltaica medial, sobre a qual programam arenitos com laminação horizontal, rico em lâminas micáceas na sua parte inferior (fig. 8), seguida de espesso intervalo de laminação cruzada clino-ascendente, e de estratificação cruzada, esta com *drapes* de folhelho intercalados nas lâminas inclinadas frontais (fig. 9).



Figura 10 – Seqüência S_4 . Do lado esquerdo ocorre ritmo areno-argiloso com laminação ondulada truncante e, do lado direito, arenito com laminações horizontal e cruzada clino-ascendente (R), além de intraclastos e drapes silticos. Notar intercalações de ritmo arenito-siltito com pseudonódulos arenosos (P). A figura mostra 2 m contínuos de testemunho. PP-10, caixa 37/36.

Figure 10 – Sequence S_4 . In the left side sandstone-shale rhythmite occurs with truncated undulate lamination, and in the right side, horizontally-laminated and ripple drift cross-laminated (R) sandstone with silty intraclasts and drapes. Notice intercalations of sandstone-siltstone rhythmite with sandstone pseudonodules (P). The figure shows a two-meter section of core. PP-10, box 37/36.

Esses depósitos de “decantação seguida de tração” e de tração correspondem a uma frente deltaica proximal, progradando sobre os depósitos anteriores. Tal sucessão regressiva é sucedida por dois intervalos de arenito com laminação cruzada clino-ascendente e um corpo de folhelho com arenito intercalado semelhante ao anterior), correspondendo à fase transgressiva inicial do ciclo deltaico (fig. 7).

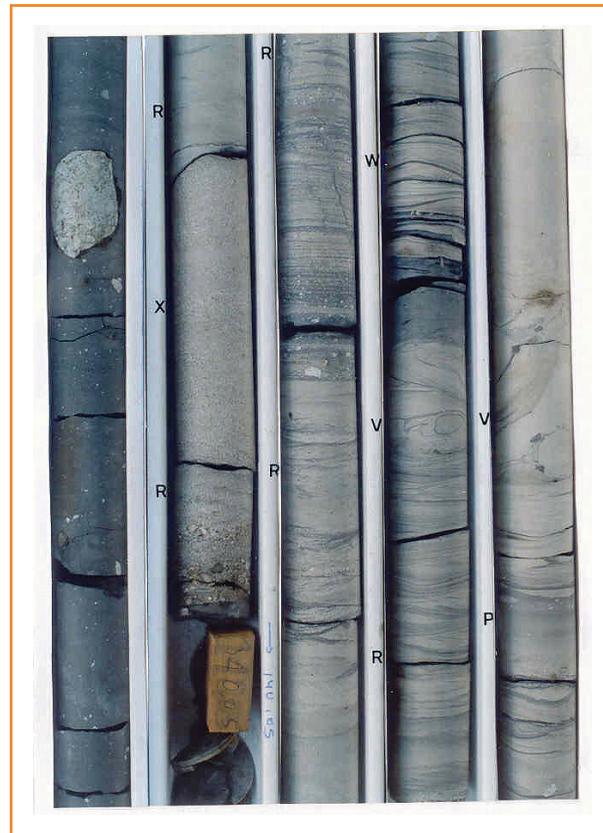


Figura 11

Seqüência S_5 , trato inferior. Sucessão de deglaciação com 2 m de espessura: (1) conglomerado e arenito com laminação cruzada clino-ascendente (R), em contato abrupto com diamictito da seqüência S_4 ; (2) arenitos com estratificação (X) e laminação cruzadas (R); (3) arenito micáceo com seixos esparsos e laminações horizontal e cruzada (R) e ritmo arenito-siltito com pseudonódulos arenosos (P); (4) ritmo arenito-folhelho com laminação ondulada truncante (W) e clasto caído (base da raia direita), intercalado com ritmo arenito-siltito com pseudonódulo arenoso (P); (5) arenito espesso com estratificação convoluta (V) a maciça, intraclastos. Poço PP-10, caixa 31.

Seguindo no poço PP-10, ocorre no trato superior da seqüência S_3 um intervalo de diamictito com lentes arenosas, sobreposto por folhelho e interlaminação arenito-folhelho wavy, com rachaduras de sinerése (tempestito). Tal sucessão indica um afogamento transgressivo para a topo da seqüência S_3 (fig. 7).

seqüência S_4

O trato inferior da seqüência S_4 começa com uma sucessão regressiva de arenito com laminação cruzada clino-ascendente gradando a siltito, e ritmo de arenito com estratificação convoluta gradando a siltito maciço (fig. 7). Segue-se uma fase transgressiva inicial, com ritmos de arenito com laminação ondulada truncante e *drape* argiloso (tempestito), seguidos de ritmos de arenito, com laminações paralela e cruzada clino-ascendente (em parte retrabalhado por ondas), e *drape* siltico; nessas duas fácies rítmicas de suspensão intercalam-se níveis de siltito maciço com pseudonódulos (fig. 10).

Figure 11

Sequence S_5 , lower tract. A 2 m-thick deglaciation succession: (1) sequence S_4 diamictite abruptly overlain by conglomerate and ripple drift cross-laminated sandstone (R); (2) cross-bedded (X) and cross-laminated (R) sandstones; (3) horizontally and cross-laminated (R), micaceous sandstone with sparse pebbles, and sandstone-siltstone rhythmite with sandy pseudonodules; (4) sandstone-shale rhythmite with truncated wave laminations (W) and dropstone (base of far right side), intercalated with sandstone-siltstone rhythmite with sand pseudonodule (P); (5) thick, massive sandstone with basal convolute bedding (V) and intraclasts. Well PP-10, box 31.

Em seguida desenvolve-se uma espessa sucessão de arenosidade crescente (*cleaning-up*), formada por arenitos muito finos, provavelmente menos argilosos para cima: (a) ritmitos espessos de arenito com estratificação convoluta e siltito maciço com pseudonódulos arenosos, (b) arenito com estratificação convoluta, (c) arenito com laminação cruzada clino-ascendente, alguma deformação convoluta e níveis sílticos, (d) arenito com estrutura em prato (*dish*), (e) arenito maciço a deformado por liquefação e com alguma laminação cruzada clino-ascendente.

Todo o trato inferior da seqüência S_{4a} , portanto, é do tipo lobo sigmoidal, dominado por material arenoso muito fino/fino, com matriz argilosa/micácea (processos de suspensão, ou *slurries*), tornando tal sucessão deltaica um reservatório relativamente pobre.

Um corpo de diamictito, com 4 m de espessura, representa o trato superior da seqüência (fig. 7). A passagem gradual do arenito com laminação cruzada clino-ascendente (trato inferior) para o diamictito é gradual e registra o episódio transgressivo representado por esta litologia (ver fig 12a).

seqüência S_5

A seqüência S_5 completa a “transição Taciba-Triunfo” na área e é bastante distinta das anteriores: enquanto S_3 e S_4 constituem sucessões deltaicas, S_5 registra dois ciclos R-T no PP-10, em contextos de deglaciação a marinho (ciclo basal), seguido de estuarino a marinho (ciclo do topo). Além disso, ao final da seqüência S_5 ocorrem arenitos marinhos de *shoreface* nos poços PP-11 e PP-9, e que se encontram erodidos no PP-12 e PP-10 devido à erosão pré-Triunfo “superior”.

O ciclo basal inicia-se com uma sucessão gradodecrescente de deglaciação, sobreposta a diamictito da seqüência anterior (fig. 7). Em 2 m de testemunho, são nove litofácies agrupadas em cinco intervalos: (a) conglomerado seguido de arenito com laminação cruzada clino-ascendente, (b) arenito médio com estratificação cruzada seguida de laminação cruzada clino-ascendente, (c) arenito micáceo com laminações horizontal e cruzada clino-ascendente, seixos e grânulos esparsos, gradando a ritmito arenito-siltito maciço



Figura 12 – Seqüências S_4 e S_5 : transgressões graduais (A, B), e regressão brusca (C), no poço PP-10. (12a, caixa 32) Arenito com laminação cruzada clino-ascendente passando a diamictito (S_4). (12b, caixa 30) Arenito com estratificação cruzada e, no topo, com *drapes* argilosos, marcas de raiz e afinamento textural; segue ritmito areno-siltico bioturbado e areno-argiloso, e interlaminação arenito-folhelho com bioturbação (seqüência S_5 – trato superior, notar detalhe na figura à direita). (12c, caixa 29) contato “regressivo” brusco de folhelho (topo de S_5), com arenito maciço a laminado de frente deltaica proximal (Membro Triunfo “superior”).

Figure 12 – Sequences S_4 and S_5 : gradual transgressions (A, B) and sharp regression (C) in well PP-10. (12a, box 32) Ripple-drift cross laminated sandstone grading to diamictite (S_4). (12b, box 30) Cross-bedded sandstone appear at the top mud drapes, rootmarks and fining-upwards texture; bioturbated sandy-silty rhythmite, and bioturbated, sandstone-shale interlamination follow (S_5 , upper tract; see detail at right-hand side). (12c, box 29) abrupt, “regressive” contact of marine shale (top of S_5), with massive to laminated, proximal delta front sandstone (“upper” Triunfo).

com pseudonódulos, (d) ritmito arenito-folhelho com laminação ondulada truncante e seixo caído, (e) ritmito espesso de arenito, com estratificação convoluta, gradando a siltito com pseudonódulos arenosos (fig. 11). Tal sucessão granodecrescente, com depósitos de tração seguidos de suspensão, já exhibe sedimentos marinhos no quarto intervalo (d); a análise dos perfis confirma a evolução transgressiva da sucessão, que se torna mais marinha para o topo (fig. 7).

O ciclo do topo inicia-se com arenito médio portando estratificação cruzada e *flaser* de folhelho, além de intraclastos argilosos esparsos, de um ambiente flúvio-estuarino. Para o topo delinea-se um contexto transgressivo, com *flasers* mais freqüentes e estratos arenosos mais delgados, acompanhados de marcas de raiz; dando lugar a ritmitos areno-sílticos bioturbados e ritmitos areno-argilosos, e finalmente interlaminação arenito-folhelho com bioturbação (fig. 12b).

Nos poços PP-10 e PP-12, essa última litologia marinha da “transição Taciba-Triunfo” é sobreposta abruptamente por arenito maciço a laminado (fig. 12c), representando depósito de suspensão de frente deltaica do Membro Triunfo “superior”.

evolução cronoestratigráfica

A seção norte-sul da figura 13, com os poços PP-12 a PP-9, mostra a correlação das seqüências deposicionais S_0 a S_2 da Formação Taciba, e S_3 a S_5 do Membro Triunfo “inferior” (“transição Taciba-Triunfo”). Cabe destacar as variações significativas de espessura das duas unidades, entre poços distantes 20 km entre si (PP-11 a PP-10 e PP-11 a PP-9): para as seqüências superiores da Formação Taciba, de 50 m no PP-10 a 80 m no PP-11, e para a “transição Taciba-Triunfo”, de 50 m no PP-11 a 80 m no PP-9. No primeiro caso, isso se deve a variações dos tratos arenosos inferiores.

A **seqüência S_0** é formada de um trato arenoso inferior, Membro Rio Segredo e de um trato argiloso ou lamítico superior (fig. 2); deve-se ressaltar que somente este último trato é alcançado pelas sondagens PP-10 e PP-11, próximas a Mafra, e que o arenito Rio Segredo não ocorre nesta área (Weinschütz, 2001).

No poço PP-10, a parte superior de S_0 revelou ciclos de granocrescência com folhelho várvido, siltito ou “diamictito” (matriz síltica e seixos caídos sugerindo origem por “chuva de detritos”), e interlaminação arenito-folhelho com feições de escorregamento e raros clastos caídos. Nota-se assim uma influência glacial na deposição de S_0 na área do PP-10, contrastando com o ambiente marinho normal anteriormente caracterizado no PP-11 (fig. 3); ou seja, infere-se uma fonte de geleiras a sudeste da área, provindas das cabeceiras do rio Hercílio ou Itajaí do Norte (Castro, 1999).

A **seqüência S_1** inicia com o trato arenoso inferior, com 11 m de arenito turbidítico no poço PP-11 (fig. 3). Outro corpo de turbidito, mais espesso (50 m), foi testemunhado na sondagem RB-1, 10 km a noroeste do PP-10; isso sugere uma origem similar para a “caixa” de arenito fino/médio do poço 1-CN-2-SC (fig. 2), anteriormente sugerida como fluvial (Schneider e Castro, 1975).

O poço PP-10 encontrou 4,5 m de arenito no trato inferior de S_1 , com indicação de um ambiente flúvio-estuarino em contexto de deglaciação. Já o trato superior consiste em uma sucessão granocrescente de folhelho, folhelho várvido e siltito com lâminas/lentes arenosas e estruturas de escorregamento; nessas litologias se observam laminações areno-argilosas muito regulares, semelhantes a varves e ocasionais clastos caídos. Assim permanece a proveniência glacial de sudeste, fundada na passagem do contexto marinho distal do PP-11, para o proximal e gláciomarinho, do PP-10 (fig. 13).

Talvez a maior evidência marinha normal do poço PP-11 encontra-se no trato arenoso inferior da **seqüência S_2** . Aqui, como já foi visto, dominam depósitos de suspensão modificados por bioturbação e sucessões de granocrescência com feições de marés; a lenticularidade do depósito, só encontrado no PP-11, sugere que se trata de um vale inciso preenchido por depósitos marinhos (figs. 3, 13).

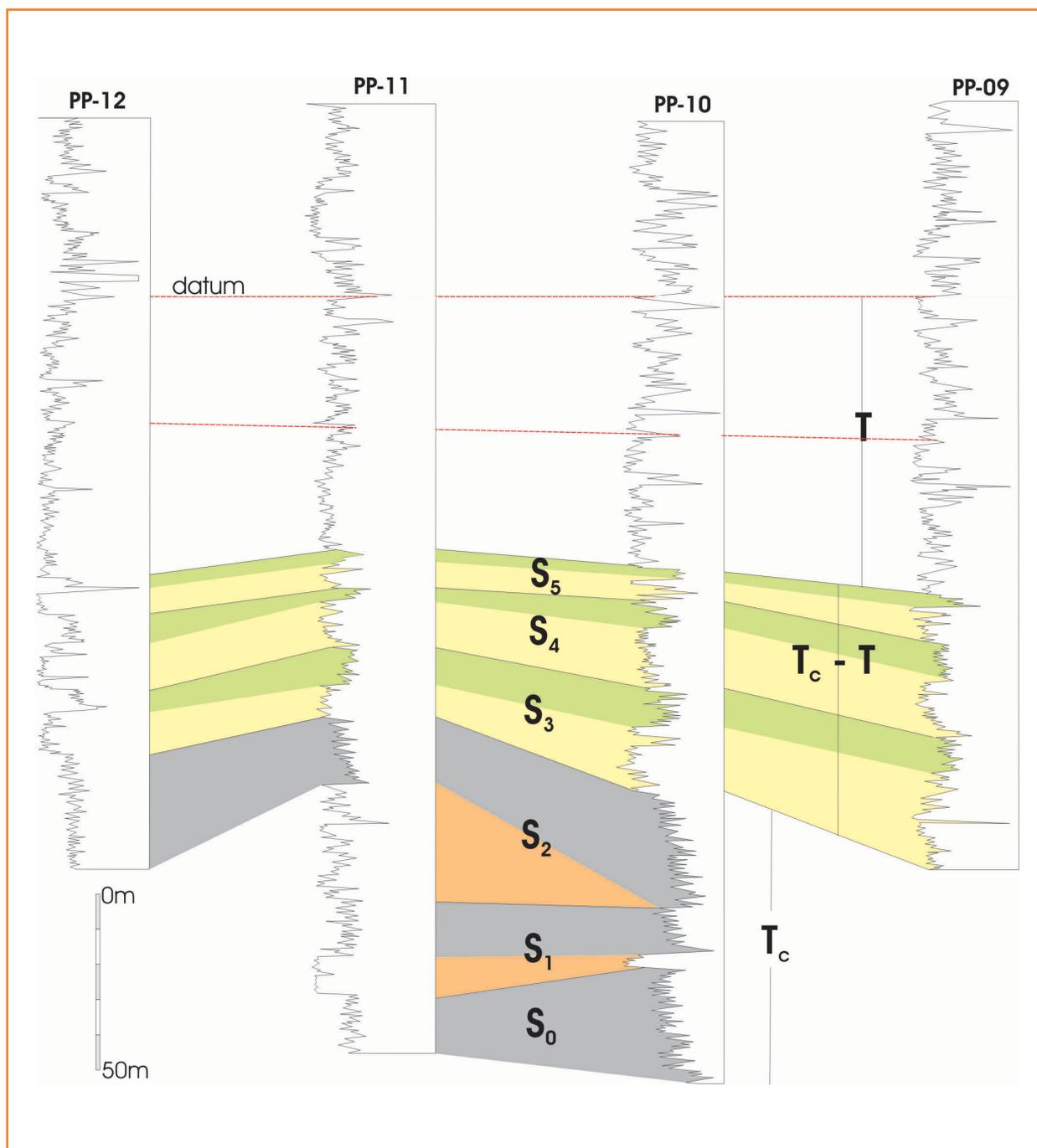
Em relação ao trato argiloso superior de S_2 , inclusive quanto à passagem para o Membro Triunfo, quase não há diferença entre o PP-10 e PP-11. O trato é representado por uma espessa suces-

Figura 13

Seção estratigráfica entre o PP-12 e o PP-9, com as seqüências S_0 a S_2 da Formação Taciba (Tc) e as seqüências S_3 a S_5 da "transição Taciba-Triunfo" (Tc-T). Datum no topo do Membro Triunfo (T).

Figure 13

Stratigraphic section between PP-12 and PP-9 wells, with Taciba (Tc) S_0 to S_2 sequences, and "Taciba-Triunfo transition" (Tc-T) S_3 to S_5 sequences. Datum at top of Triunfo Member (T).



são de argilosidade decrescente (*cleaning up*), com folhelhos várvidos sucedidos por ritmitos delgados areno-argilosos e siltitos maciços de suspensão (turbiditos distais). Para o topo desenvolvem-se ritmitos, de pequeno porte, formados por arenito com estratificação convoluta e silito com pseudonódulos arenosos (depósitos de suspensão tipo *slurry*), associados a ritmitos delgados de arenito e folhelho com laminações onduladas truncantes e aleitamento gradacional (tempestito

distal). Tal associação de depósitos finos de suspensão e de ondas de tempestade constituem um sistema prodeltaico a marinho raso.

Na base da **seqüência S_3** , ritmitos espessos de arenito com estratificação convoluta e silito com pseudonódulos (*slurry*), associados a arenitos com laminação cruzada clino-ascendente, constituem depósitos de suspensão de frente deltaica medial. São sucedidos por arenitos maciços ou com laminação horizontal e cruzada clino-ascendente (sus-

pensão), e por arenitos com estratificação cruzada (tração), em um contexto de frente deltaica proximal (PP-11 e PP-10). Tal contexto regressivo mostra um sentido de progradação para sul, desde o PP-12, com fácies mais tracionais de planície deltaica, ao PP-9, de frente deltaica medial dominada por *slurries* de suspensão. Essa relação faciológica é refletida na isópaca da sigmóide deltaica, de 12 m no PP-12 para 26 m no PP-9 (fig. 13).

O trato superior da seqüência é formado por diamictito, com 12 m a 10 m de espessura (do PP-9 ao PP-11), e por folhelho seguido de interlaminação *wavy*/bioturbação (6 m de espessura), do poço PP-12 para o norte. Isso mostra a maior influência glacial a sul (PP-9). O perfil do PP-12 também mostra que o ciclo ou seqüência é basicamente R-T-R, como os ciclos-seqüências da Formação Taciba: o trato arenoso deltaico-regressivo sofre retrabalhamento transgressivo na sua parte superior, que culmina com o folhelho da base do trato argiloso, e deste regredindo para a interlaminação *wavy*.

A **seqüência S₄** é parecida com a S₃ quanto à estrutura básica de um ciclo deltaico R-T, com perfis granocrescente e granodecrescente (“funil” seguido de “sino”) nos poços PP-11 a PP-9. No PP-10, a espessura é maior (19 m) e os arenitos são finos/muito finos, micáceos, com liquefação intensa (*slurry*) e fluidização local (estrutura em prato), assim demonstrando um contexto de frente deltaica medial (figs. 7, 13). O PP-9 exhibe tempestitos na parte inferior do perfil, indicando condições mais distais ao sul. No outro extremo, o perfil do PP-12, com 13 m, é basicamente granodecrescente (em forma de sino), indicando condições mais proximais de uma planície deltaica e alimentação norte do sistema deltaico (fig. 13).

O trato superior de S₄ é representado regionalmente por corpo de diamictito, com 11 m a 8 m de espessura (PP-9 e PP-12); uma única exceção é o PP-11, com 3 m de interlaminação arenito-folhelho.

A **seqüência S₅**, com espessura total de 14 m no PP-9 a 10 m no PP-12, mostra uma situação diferente para o trato inferior, com depósitos fluviais no PP-12, e dois ciclos granodecrescentes, cada um passando de flúvio-estuarino a marinho, nos poços PP-11 e PP-9. Tais ciclos são dife-

rentes no PP-10, de deglaciação a marinho (abaixo) e flúvio-estuarino a marinho (acima). É digno de menção a presença de intercalação delgada (0,2 m) de ritmo várvido com clastos caídos, na fácies estuarina inferior do PP-9, mais uma vez atestando maior influência glacial a sul.

No trato superior, dominam regionalmente as fácies de folhelho e interlaminado *wavy*/bioturbado marinho. Uma diferença ocorre nos poços PP-12 e PP-10, onde tal sistema marinho é abruptamente sobreposto por arenito de frente deltaica da base do Triunfo “superior”, assim caracterizando uma discordância no limite de seqüência (fig. 7). Já nos poços PP-11 e PP-9 o sistema marinho é recoberto gradualmente por ritmo delgado de arenito a folhelho (tempestito distal) e arenito bioturbado/fossilífero de *shoreface*, e o contato Triunfo “superior”-“inferior” neste caso representa a concordância correlata à discordância (fig. 13).

A continuidade do arcabouço estratigráfico ora proposto, para norte do PP-12, pode ser vista em Castro (1999). Usando o poço PP-12 como referência comum aos dois trabalhos, nota-se que as seqüências “S₄” e “S₅” daquele autor, correspondendo aqui à S₁ e S₃+S₄, prolongam-se ao norte-paranaense até os poços PP-13 e PP-14. A partir daí observa-se o progressivo truncamento das seqüências mais novas (“S₅” ou S₃+S₄) pela discordância pré-Triunfo “superior”, de modo que a partir do PP-15 toda a “transição Taciba-Triunfo” desaparece, e a seqüência S₁ da Formação Taciba é recoberta discordantemente pelo Membro Triunfo.

conclusões

A Estratigrafia de Seqüências é adequada para o mapeamento cronoestratigráfico do intervalo entre a Formação Taciba, última unidade glacial do Grupo Itararé, e o Membro Triunfo da Formação Rio Bonito, com seus sistemas deltaicos, estuarinos e de deglaciação. Na margem leste da Bacia do Paraná, região de Mafra/SC, seis seqüências deposicionais são mapeadas em testemunhos/perfis de quatro poços rasos, numa extensão de 50 km.

Tais seqüências são estendidas aos poços profundos a oeste, onde se pode observar o Membro

Rio Segredo como trato inferior arenoso da seqüência S_0 , não alcançado nas sondagens rasas. Esta unidade arenosa de turbiditos mostra acunhamento de oeste para leste, e está ausente na faixa de afloramentos. Ainda na Formação Taciba, o trato inferior da seqüência S_1 é formado por arenitos turbidíticos a estuarinos, e o da seqüência S_2 é constituído de arenitos e folhelhos marinhos; nestas seqüências há grande variabilidade de espessura e os arenitos-reservatório provavelmente são canalizados, principalmente o de S_2 , só observado em um único poço (PP-11). Já o trato superior das três seqüências da Formação Taciba é formado por depósitos finos de suspensão, retrabalhados (S_0 e S_1) ou não (S_2) por bioturbação. Assim, apenas o Membro Rio Segredo, da seqüência basal S_0 , mostra-se atraente como reservatório de hidrocarbonetos.

As seqüências inferiores S_3 e S_4 do Membro Triunfo (ou “transição Taciba-Triunfo”) correspondem a ciclos R-T, com sistemas deltaicos progredientes para sul, e depois sendo afogados por transgressão de sistemas gláciomarinhas provenientes de sul. A seqüência S_5 mostra dois ciclos transgressivos, desde flúvio-estuarino até marinho, alimentados de sistema fluvial a norte (PP-12); localmente ocorre sistema de deglaciação no ciclo inferior (PP-10).

Estas seqüências de alta freqüência do Membro Triunfo, com tratos arenosos de mar baixo seguidos por tratos lamíticos e argilosos de mar alto, é interessante à geologia do petróleo, pois proporciona múltiplos reservatórios e selantes.

agradecimentos

Ao geólogo Almério B. França pela revisão do trabalho e sugestões apresentadas. Ao colega Ricardo Blaques e à Darlene Armbrust pela confecção das ilustrações.

referências bibliográficas

CASTRO, J.C. **A evolução dos sistemas glacial, marinho e deltaico das formações Rio do Sul e Rio Bonito/Mb. Triunfo (Eopermiano), sudeste da Bacia do Paraná.** Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 1991. Tese (Doutorado).

CASTRO, J.C. **Estratigrafia de Seqüências das formações Campo Mourão (Parte superior) e Taciba, Grupo Itararé, leste da Bacia do Paraná.** Revista Brasileira de Geociências, v. 29, n. 2, p. 255-260, 1999.

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

FRANÇA, A.B., POTTER, P.E. **Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1).** Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 2, n.2/4, p.147-191, 1988.

GALLOWAY, W.E. **Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units.** American Assoc.of Petroleum Geologists Bull., v. 73, p. 125-142, 1989.

MITCHUM JR., R.M., VAN WAGONER, J.C. **High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles.** Sedimentary Geology, v. 70, p. 131-160, 1991.

SCHNEIDER, R.L., MÜHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R.A., DAEMON, R.F., NOGUEIRA, A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 1, p. 41-65.

SCHNEIDER, R.L., CASTRO, J.C. Análise estratigráfica, sedimentologia e possibilidades petrolíferas da Formação Rio Bonito no sudeste da Bacia do Paraná. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEPEX, 1975. Relatório Interno.

WEINSCHÜTZ, L.C. **Análise estratigráfica e faciológica do Grupo Itararé na região de Mafra/SC e Rio Negro/PR, borda leste da Bacia do Paraná.** Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2001. Tese (Mestrado).

expanded abstract

This study focuses on the evolution of the Taciba Formation - Triunfo Member (Rio Bonito Formation) interval in the Mafra area, in northern Santa Catarina State. Four cored/logged, shallow wells provide the opportunity for vertical facies analysis along a north-south, 50 km-long cross-section from well PP-12 to PP-9. The main points to be investigated are the glacial setting of the Itararé Group, expressed by its upper, fining-upwards cycle (Taciba Formation), and the post-glacial deltaic setting of "lower" Triunfo Member (informally designated "Taciba-Triunfo transition"). The total thickness of the Taciba-Triunfo interval is more than 300 m in well 2-PUst-1-SC. The Triunfo Member has a depocenter in northern Santa Catarina State of which thickness (120 m) is comparable to the other depocenter located in the Rio do Sul outcrop area, central Santa Catarina State. In both areas the first, typical deltaic section is known as "Triunfo basal delta". Mafra basal delta (sequence S_3) is probably older than its Rio do Sul counterpart, as the basin depocenter has systematically migrated southward with time.

The sequence stratigraphic and the genetic sequence approaches have both proven to be very useful and concordant. Six depositional sequences were defined using the most complete, type-well PP-11 (300 m of cores, half of them from the focus interval). Each sequence is formed by a pair of systems tracts - a lower sandy tract and an upper shaly tract - that can be assigned respectively to lowstand and highstand settings. This framework can be compared to regressive-transgressive cycles typical of deltaic systems, as is the case of "lower" Triunfo (Taciba-Triunfo transition); sequences S_3 to S_5 are illustrated by vertical facies log and photographs of well PP-10. In the case of Taciba Formation, the R-T cycle must be added with another "regressive" component, which corresponds to the highstand, aggradational to progradational shallow marine deposits; then the cycle becomes R-T-R, in the same way as the structure of a depositional sequence. The vertical log profile and photographs of Taciba sequences, S_0 to S_2 , illustrate the unit in well PP-11, which holds the main marine rocks in the area.

The Taciba Formation has three sequences, S_0 to S_2 . Sequence S_0 has thick turbidite sandstone in the lower tract. The Rio Segredo Member, which stands above the Lontras Shale, is probably the best marker of the Itararé Group. The Rio Segredo turbidites pinch

out towards the eastern margin and even disappear in the Mafra outcrop area. The shaly upper tract of S_0 represents the thickest marine shale of the section. Sequence S_1 is the thickest and facies variations in its lower tract sandstones range from a thin fluvial-estuarine system to a thicker turbidite sandstone of a channelized fan system; S_1 upper shaly system tract, the same way as S_0 , shows shales and rare sandstones of a marine system in well PP-11, or a glacially-influenced marine system in well PP-10, located to the southeast. Sequence S_2 lower tract displays a thick sandstone and shale section of shallow marine origin, resulting from suspension processes modified by bioturbation and vertical spreiten; however this section is quite lenticular, restricted to only one well (PP-11). Its upper shaly tract is dominated by thin bedded, massive siltstones intercalated with thin, distal tempestites, also related to suspensions that are partly modified by storm processes.

The "lower" Triunfo Member (or "Taciba-Triunfo transition") begins with the arrival of deltaic clastics of sequence S_3 lower tract, in the form of a coarsening-up succession from medial- to proximal delta front. This succession is formed by (1) thick sandstone-siltstone rhythmites, with convolute bedding sandstone grading to massive siltstone with sand pseudonodules (slurry bedding) and ripple drift cross-laminated sandstones; which are partly reworked by storm waves, and (2) sandstone with horizontal lamination, ripple drift cross-lamination and cross-bedding. The upper fine system tract is represented by diamictite, which forms a tabular body (PP-11 to PP-9) but changes laterally to shale, northwards of well PP-12. A significant facies and thickness variation is noted in the sandy lower tract of sequence S_3 , from 12 m of delta plain sediments in well PP-12 to 26 m of medial delta front in well PP-9; this relationship reflects the sigmoidal deltaic geometry, thicker in central delta front and thinning updip to delta plain and downdip to prodelta. The diamictite thickness show little variation (12 m in PP-9 to 10 m in PP-11).

Sequence S_4 is quite similar to S_3 , as it shows sandstone progradation from north to south, as opposed to the southeast, glacially-sourced "transgressive" diamictites. Sequence S_5 consists of fluvial deposits at PP-12, and fluvial-estuarine or local deglaciation cycle from wells PP-11 to PP-9. In this case such deposits are a part of two transgressive cycles, from fluvial-estuarine to marine systems; well PP-10 is an exception, where the "lower" cycle has a 2 m-thick deglaciation succession that merges into a marine

section. The marine shale that represents the top of the “upper” cycle is representative of the upper tract of sequence S_5 .

The limit between “lower” and “upper” Triunfo is an unconformity or a correlative conformity: in the first case - wells PP-12 and PP-10 - fluvial or proximal delta front deposits sharply overlie the marine shale of S_5 upper tract. However, in wells PP-11 and PP-9 there is a gradational contact: marine shales are overlain by bioturbated and truncated undulate lamination sandstones and shales (micro-hummocky), which in turn grade to hummocky cross-stratified sandstones, resulting in a sandier, cleaning-up succession.

The “lower” Triunfo, or “Taciba-Triunfo transition” sequences (S_3 to S_2) extend northwards of the PP-12 well: at wells PP-13 and PP-14, sequence S_5 has been

eroded and only S_3 and S_4 occur, and at PP-15 and PP-16 these sequences have also been eroded by “lower” Triunfo unconformity in such a manner that in the later wells marine sequence S_2 (Taciba Formation) is directly overlain by “upper” Triunfo fluviodeltaic sandstones.

From a petroleum standpoint, the Rio Segredo Member of Taciba Formation (S_0 sequence) is the best reservoir as far as geometry and thickness are concerned. On the other hand, the variable facies and thicknesses of S_1 sandstone and the lenticular shape of S_2 sandstone turns them into poor reservoirs; besides, their geographical location near the basin margin is unfavorable. The high-frequency sequences of “lower” Triunfo Member are interesting, since they provide three conjugate systems of sheet reservoirs and seals.

autor author



Joel Carneiro de Castro

Universidade Estadual Paulista – UNESP

Campus de Rio Claro

e-mail: jocastro@rc.unesp.br

Joel C. de Castro é geólogo formado pela Escola de Minas de Ouro Preto (1965), e Doutor pela Universidade Estadual Paulista - UNESP (1991). Trabalhou durante 26 anos na Petrobras, entre o Departamento de Exploração (Depex) e o Centro de Pesquisas (Cenpes), aposentando-se ao final de 1991. Trabalha, desde então, na UNESP - Campus de Rio Claro, agora como professor-adjunto, onde ministra disciplinas e orienta alunos em pesquisas ligadas à Geologia do Petróleo, com ênfase em Rochas-reservatório e Estratigrafia de Seqüências.