

Estratigrafia de sequências da porção basal da Formação Los Rastros (Sub-bacia de Ischigualasto/Bacia de Bermejo – Argentina)

Sequence stratigraphy of the of Los Rastros Formation lowermost portion (Ischigualasto Sub-basin/Bermejo Basin – Argentina)

Cristiano Mundstock Fischer¹, Ubiratan Ferruccio Faccini², Paulo Sérgio Gomes Paim², Tatiana dos Santos Rennau² e Adriana Bracco³

resumo

O objetivo deste estudo é identificar a assinatura estratigráfica e os controles da sedimentação em uma bacia rifte lacustre. A partir da análise de imagens de satélite e, principalmente, da descrição de afloramentos, estabeleceu-se um arcabouço estratigráfico na escala de sequências para a Formação Los Rastros (Carniano) da Sub-bacia de Ischigualasto, na Argentina.

Em um intervalo de pouco mais de 120m de espessura, foram delimitadas quatro sequências deposicionais com faciologia e arquitetura estratigráfica similares – refletindo sucessivas variações do espaço de acomodação. Subdivididas em tratos de sistemas, cada sequência inicia com fácies de preenchimento de vales incisos, representados por *sheets* de canais fluviais entrelaçados na base (trato de sistemas de nível de lago baixo inicial) e depósitos de canais fluviais meandriformes associados a sedimentos finos de planície de inundação para o topo (trato de sistemas de nível de lago baixo final).

Os tratos de sistema transgressivo são caracterizados por depósitos fluviais e deltaicos com empilhamento retrogradacional e padrão granodecrescente dos conjuntos de parassequências. Já os tratos de sistemas de nível de lago alto são identificados pelo empilhamento progradacional das parassequências e pela ocorrência de corpos isolados de arenitos lenticulares (*ribbons*) para o topo, interpretados como canais distributários.

A recorrência da arquitetura estratigráfica, associada à ausência de espessamentos de seção e ao paralelismo dos estratos, indica estabilidade do rifte nesta fase. Estas evidências, somadas à dominância das paleocorrentes que apontam aporte fluvial a partir da borda falhada, indicam que as variações do nível de base na escala de sequências sejam diretamente relacionadas a flutuações do nível do lago, controladas por fatores climáticos.

Palavras-chave: Estratigrafia de sequências | Depósitos fluvio-deltaicos | Proveniência de borda falhada de rifte | Sedimentação pós-rifte

¹ Petrobras. Unidade de Operações de Exploração e Produção de Sergipe e Alagoas. cristianofischer@yahoo.com.br

² Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS. ufaccini@unisinos.br; ppaim@unisinos.br; tatirennau@hotmail.com

³ Universidad Nacional de San Juan, Pv. de San Juan, Argentina. adrygeo@yahoo.com.ar

abstract

This study seeks to identify the stratigraphic signature and sedimentary control in a lacustrine rift basin in the Los Rastros Formation (Carnian), Ischigualasto Sub-basin, Argentina. A stratigraphic framework (sequence scale) is established for the interval, based on satellite images and outcrop analyses.

Four depositional sequences with similar faciology and stratigraphic architecture have been identified in a 120m thick interval - reflecting successive variations of accommodation creation. Subdivided into system tracts, each sequence initiates with incised valleys fills, represented by braided fluvial channels – sheet sands – at the base (early lowstand system tracts) and meandering fluvial channels associated with floodplain fine-grained lithofacies at the top (late lowstand system tracts).

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

Keywords: *Sequence stratigraphy / Fluvial-deltaic deposits / Foot-wall provenience / Post-rift sedimentation*

introdução

Este trabalho visa analisar os registros sedimentares de origem deltaica da área de Ischigualasto como modelo análogo para sistemas petrolíferos devido à notável exposição de rochas geradas em contexto fluvio-deltaico.

Neste contexto, este estudo estabelece o levantamento de perfis com cerca de 800m de empilhamento cada, compreendendo diversas unidades litoestratigráficas nesse intervalo. Julgando boa representatividade deste todo, os dados aqui apresentados – um intervalo com pouco mais de 120m de espessura – visam estabelecer um arcabouço estratigráfico para a base da unidade litoestratigráfica (Formação) Los Rastros (Neotriássico da Sub-bacia de Ischigualasto, centro-oeste argentino), sob o enfoque da estratigrafia de seqüências.

Através do reconhecimento e da análise das fácies, sua sucessão lateral e vertical, bem como das superfícies estratigraficamente significativas e da compreensão sobre a gênese destas rochas e a evolução da história deposicional de uma bacia estilo rifte, buscou-se delimitar as arquiteturas deposicionais e

identificar as superfícies-chave, tais como: limites de seqüências, superfícies transgressivas e de inundação máxima que indiquem eventos/ciclos na escala de seqüências.

contexto geológico

A Sub-bacia de Ischigualasto faz parte de um sistema de hemigrábens desconexos que, em conjunto, compõem a Bacia de Bermejo (fig. 1), limitada ao oeste pela Sutura de Valle Fértil. Estes riftes foram originados pelo processo de extensão generalizada que afetou a margem ocidental do Gondwana a partir do Paleozoico e início do Mesozoico (Ramos, 1999). O preenchimento do sistema rifte ocorreu durante o Triássico, em contexto predominantemente flúvio-deltaico, com participação subordinada de sedimentação de origem eólica e depósitos vulcano-clásticos (fig. 2). Durante o Cenozoico, a Sub-bacia de Ischigualasto sofreu inversão tectônica, adquirindo um caráter compressional (Guadagnin, 2004), razão pela qual a Sutura de Valle Fértil aparece na figura 1 como uma falha de empurrão.

Litoestratigraficamente, a Sub-bacia de Ischigualasto é subdividida em sete unidades, da categoria de formação, integrantes dos grupos Paganzo III e Agua de La Peña e são denominadas, da base para o topo: formações Talampaya, Tarjados, Chañares, Ischichuca, Los Rastros, Ischigualasto e Los Colorados (fig. 2). Neste contexto, o presente trabalho aborda o intervalo equivalente ao Carniano desta Sub-bacia, baseando-se na descrição de afloramentos representativos da porção basal da Formação Los Rastros.

A Formação Los Rastros é caracterizada por fácies predominantemente arenosas, atribuídas à ambientes deltaicos e fluviais (Stipanivic, 2002), ainda sendo assinalada por camadas de carvão (não verificado nas unidades inferiores). Apoiada em relação de contato transicional com a Formação Chañares e separada da Formação Ischigualasto por uma discordância estratigráfica, a Formação Los Rastros é dividida em dois membros: inferior e superior (Stipanivic e Bonaparte, 1979). No membro inferior predominam fácies pelíticas, níveis de carvão e corpos arenosos não canalizados, correspondendo a depósitos de planícies deltaicas, constituídas pela associação de canais distributários, baías interdistributários e fácies de transbordamento ou ruptura de dique marginal. No membro superior,

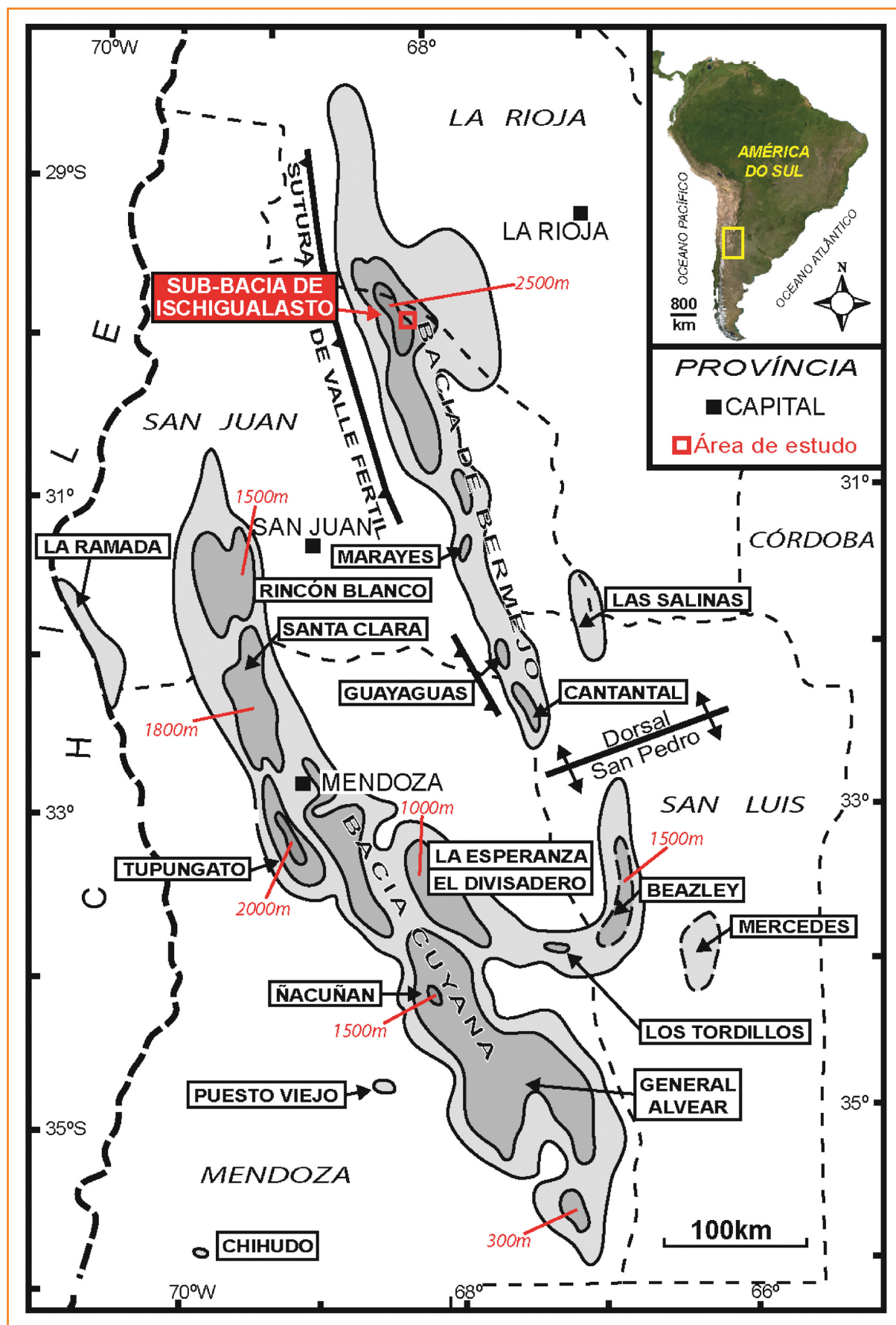
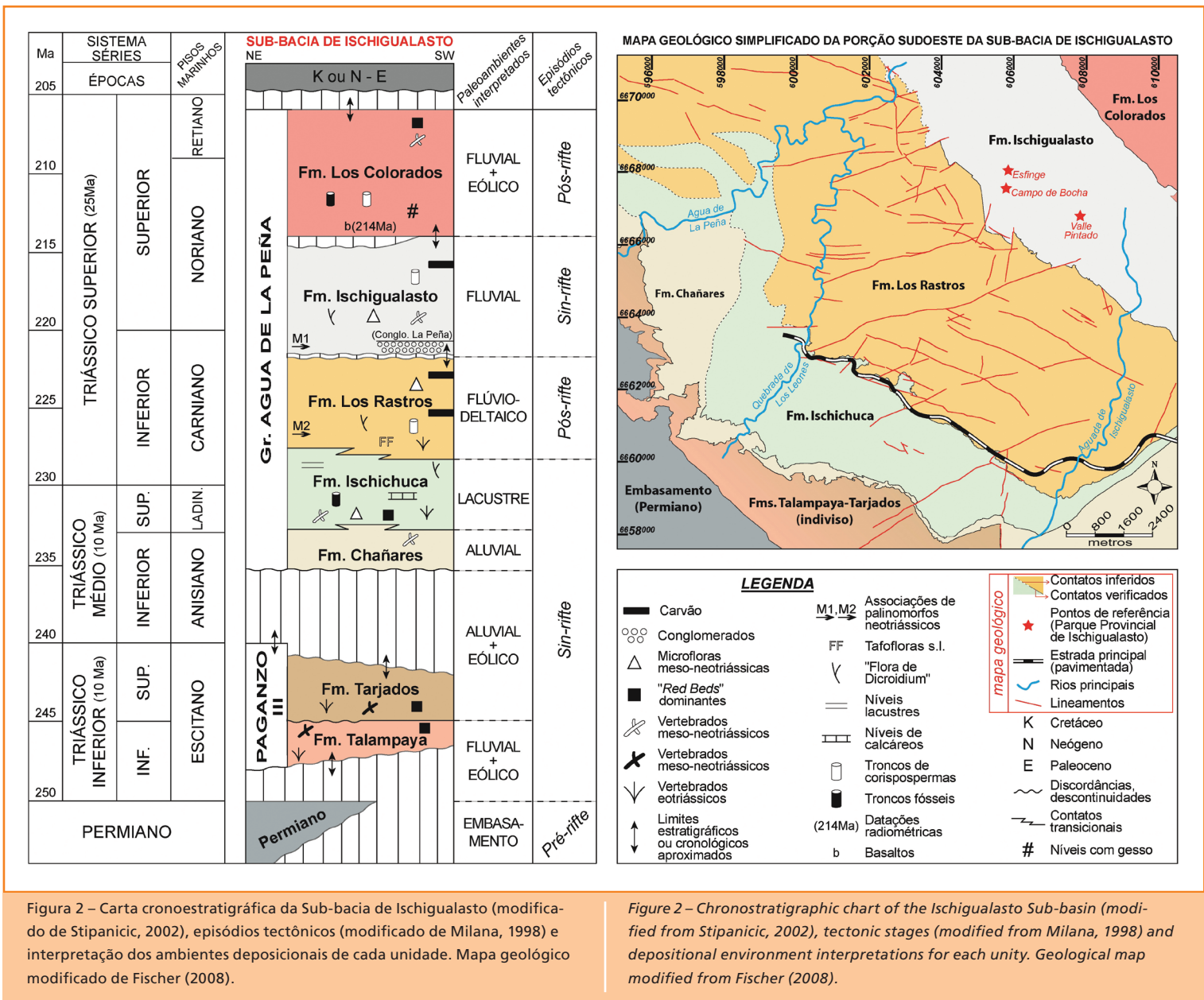


Figura 1
Mapa de localização das bacias do centro oeste argentino (Cuyana e Bermejo), em destaque a Sub-Bacia de Ischigualasto (adaptado de Stipanovic, 2002). As áreas sombreadas indicam a profundidade das bacias e os valores em vermelho, as espessuras máximas.

Figure 1
Location map of the Central-west basins of Argentina (Cuyan and Bermejo), highlighting the Ischigualasto Sub-basin (adapted from Stipanovic, 2002). Basin depth is indicated in gray. Red numbers show maximum thickness.



predominam depósitos fluviais, com corpos canalizados areno-conglomeráticos, com estratificação cruzada acanalada. De acordo com Bossi (1971), as espessuras variam de 500m na localidade de Quebrada de Ischichuca até cerca de 100m em Zanja de la Viuda. Com base nos perfis levantados para o presente estudo, a Formação Los Rastros tem espessuras de 445m na localidade de Quebrada de Los Leones (perfil QL, ao oeste) e de 363m na Aguada de Ischigualasto (perfil AI, ao leste). Elementos de megaflores vinculados com o Neotriássico de outros afloramentos gondwânicos (Anderson e Anderson et al., 1993) indicam idade neotriássica para a Formação Los Rastros.

análise de fácies e ambientes de sedimentação

O levantamento de sete perfis (1:100) que, ao todo, contabilizaram 959m de sedimentos que compõem a Formação Los Rastros, resultou em um trabalho de descrição de fácies com o reconhecimento de dois elementos fisiográficos: vales incisos e sistemas deltaicos. A caracterização faciológica desses elementos é bem discutida e documentada em Milana (1998), Melchor (2007) e Fischer (2008).

vales incisos

Com contato basal erosivo, as incisões medidas variam de 4m a 20m de profundidade. Tais feições erosivas correspondem a limites de seqüências e são preenchidas tanto por depósitos areno-conglomeráticos (predominantes na base) como por sedimentação fina (mais frequente no topo), constituindo distintas associações faciológicas. Nesse sentido, as associações de fácies de preenchimento de vales incisos foram agrupadas, da base para o topo, em três elementos morfológicos distintos: canais fluviais entrelaçados; planícies de inundação e canais meandriformes (fig. 3).

A associação de fácies de canais fluviais entrelaçados constitui a associação de fácies basal dos vales incisos. Com limite inferior erosivo, as litofácies mais representativas são arenitos médios a muito grossos, com estratificação cruzada e conglomerados formando *lags* basais com tendência geral *fining upward* (fig. 4). Os corpos areno-conglomeráticos apresentam espessura mínima de 2m e máxima de 19m. Entende-se que os processos dominantes na deposição dessas fácies tenham sido correntes fluviais trativas, gerando barras conglomeráticas e arenosas associadas às dunas 2D (linha de crista reta) e 3D (linha de crista curva), com migração de macroformas arenosas, caracterizadas por acreção frontal. Vale ressaltar que, as dunas 3D desenvolvem-se com uma velocidade do fluxo levemente superior àquelas necessárias para a geração das dunas 2D (Ashley, 1990) e que, nessa associação de fácies, a direção das paleocorrentes de dunas 3D varia, preferencialmente, entre os quadrantes NE e SE e, posteriormente, para SW.

Quanto à morfologia desses paleocanais, algumas incisões fluviais foram medidas em campo

para parametrização do sistema, considerando as variáveis profundidade máxima de corte/incisão (P) e largura (L), de acordo com a terminologia proposta por Friend *et al.* (1979). Os valores verificados permitiram classificar os corpos areno-conglomeráticos que preenchem os canais fluviais entrelaçados como *sheet bodies* (onde $L/P > 15$). Constituindo registros de canais contíguos e amalgamados, esses corpos têm alta razão L/P (e.g. 1:50; 1:67; 1:88) e, portanto, grande continuidade lateral.

A associação de fácies de planícies de inundação ocorre como fácies de topo no preenchimento dos vales incisos, sendo caracterizadas por quatro tipos básicos de depósitos: (1) camadas lenticulares de arenitos finos a médios, com laminação cruzada cavalgante ou acanalada, por vezes parcialmente fluidizadas, associadas ao rompimento de dique marginal; (2) intercalações milimétricas a centimétricas de siltitos laminados e arenitos finos com laminação cruzada cavalgante e/ou plano-paralela, podendo ocorrer sem estrutura aparente (maciços), com presença de fragmentos vegetais e marcas de raízes; (3) camadas tabulares de siltitos laminados ou maciços, de coloração cinza escuro a verde acinzentado, com fragmentos vegetais; (4) níveis tabulares de carvão com fusênio e/ou vitrênio ou, ainda, folhelhos carbonosos (com abundância de fragmentos vegetais intercalados por lâminas milimétricas de carvão).

Interpreta-se que essas litofácies foram depositadas lateralmente aos canais fluviais (depósitos de zonas de pântanos e turfeiras), representadas por sedimentos finos depositados por decantação, com acúmulo de matéria orgânica. As frações arenosas tabulares intercaladas são atribuídas a fluxos não confinados (suspensão e tração), enquanto as lenticulares representam fluxos

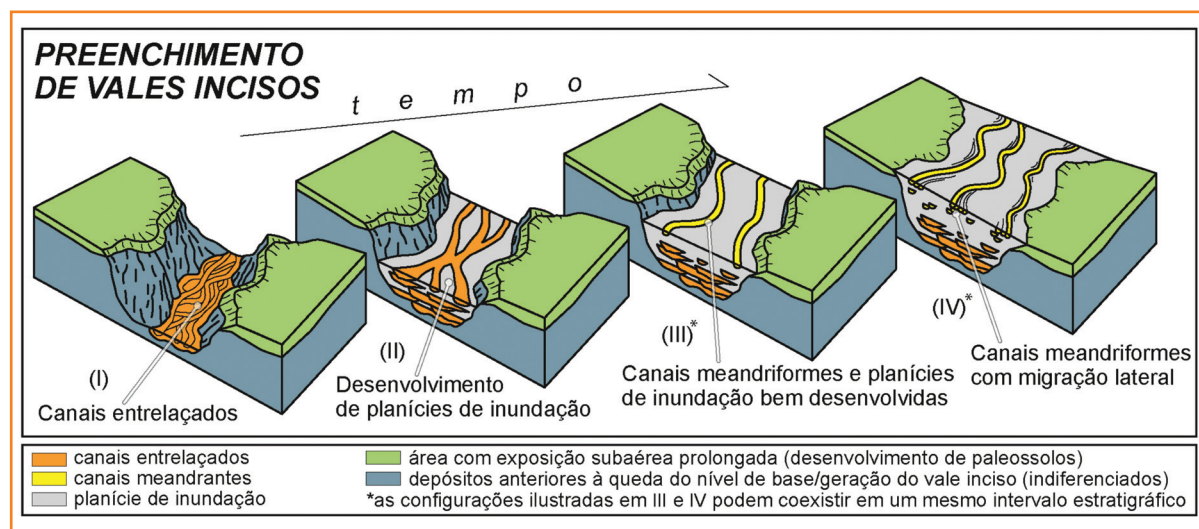


Figura 3

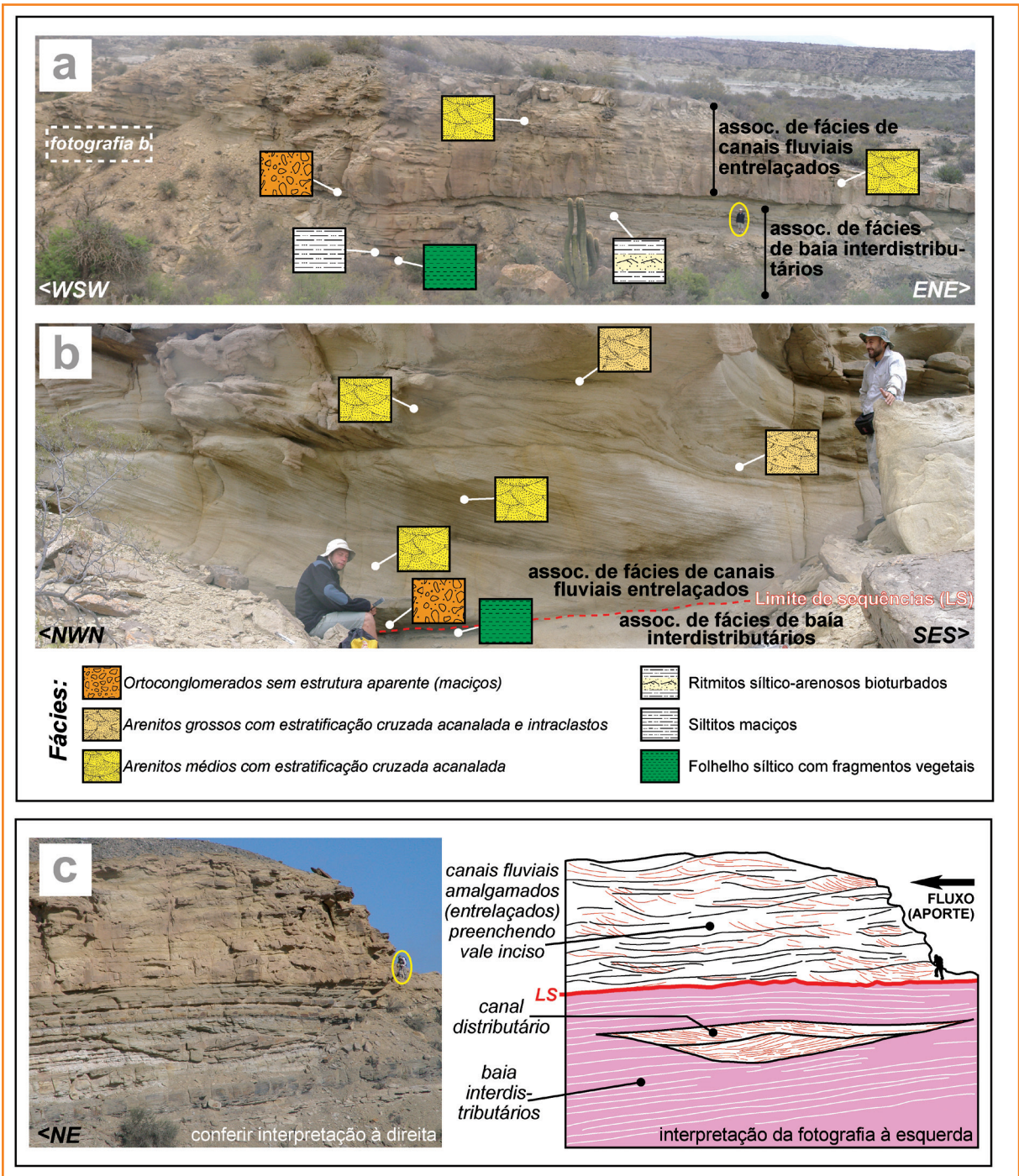
Blocos esquemáticos ilustrando a sucessão espaço-temporal interpretada dos elementos morfológicos que preenchem vales incisos (adaptado de Deptuck *et al.*, 2007).

Figure 3

Block diagram showing morphological time-space successions that filled incised valleys (adapted from Deptuck *et al.*, 2007).

Figura 4
 Associação de fácies de preenchimento de canais fluviais entrelaçados em afloramentos de Aguada de Ischigualasto (perfil AI, 118 e 140m). A e B) Feição de canal e reconhecimento de fácies; C) Distinção de grandezas entre registros de canais fluviais distributários (na base) e de sistemas fluviais entrelaçados (no topo).

Figure 4
 Facies that filled braided channels in an Aguada de Ischigualasto outcrop (AI profile, 118-140m). A and B shows channel feature and facies for these deposits, while; C distinguishes an interdistributary channel from a braided deposit.



trativos canalizados, associados a depósitos de canais e de rompimento de diques marginais.

A associação de fácies de canais fluviais meandriformes é caracterizada por corpos lenticulares (geometria de canal), constituídos por: (1) lentes de arenitos médios a muito grossos e conglomeráticos com estratificações cruzadas acanaladas de pequeno a grande porte; laminação plano-paralela ou sem estrutura aparente por fluidização. A ocorrência de grânulos e seixos pequenos a médios, além

de fragmentos vegetais e intraclastos pelíticos nos planos de estratificação também é comum; (2) camadas lenticulares de arenitos finos a médios com estratificações cruzadas acanaladas de pequeno a médio porte ou maciças, com fragmentos vegetais e intraclastos pelíticos dispersos. Assume-se, portanto, que a deposição dessas fácies ocorreu a partir de fluxos canalizados trativos e unidirecionais de regime de fluxo inferior, registrados como superposições, principalmente de dunas 3D.

As formas de leito de médio a pequeno porte são frequentemente limitadas por superfícies inclinadas, indicando a migração lateral dos canais e justificando a interpretação da ocorrência dominante de canais do tipo meandrante. Morfologicamente, esses corpos fluviais são classificados como *sheets*, pois as lentes areno-conglomeráticas, em conjunto, constituem preenchimento de canais de grande continuidade lateral, onde a razão $L/P > 15$ (e.g., 1:40), semelhante, portanto, ao que fora verificado na associação de fácies de canais fluviais entrelaçados.

planície deltaica

Nos sistemas deltaicos, a planície deltaica compreende a porção subaérea do delta, dominada por processos fluviais, incluindo os canais distributários e as áreas intercanais, ou baías interdistributários (fig. 5).

A associação de fácies de preenchimento de canais distributários é constituída por camadas lenticulares (de até 3,1m de espessura) de arenitos médios a muito grossos/conglomeráticos de cor cinza amarelada a cinza esverdeada, com estratificações cruzadas acanaladas de pequeno e médio porte como estruturas dominantes, com paleocorrentes predominantemente para NE. As lentes, de base côncava e topo plano ou convexo, possuem contato basal erosivo ou abrupto,

evidenciando pequena incisão (não ultrapassando 2m de profundidade). As camadas são organizadas em ciclos granodecrescentes, com fragmentos de carvão, grânulos e seixos pequenos na base dos sets ou ao longo dos planos de estratificação. Eventualmente, as camadas ocorrem parcialmente fluidizadas ou com fragmentos vegetais e troncos de tamanhos variados, concentrados na base, sem orientação preferencial. Na base das camadas mais espessas, ocorrem lentes (de 0,05m a 0,4m de espessura) de ortoconglomerados com estratificações cruzadas acanaladas, constituídas por intraclastos pelíticos e seixos pequenos a médios de quartzo e granito.

Os depósitos desta associação, pela geometria em canal e estruturação interna das camadas predominantemente arenosas, são interpretados como tendo sua gênese relacionada à superposição de formas de leito 2D e 3D e à migração lateral de macroformas, produzidas por fluxos fluviais confinados. As evidências de acresção lateral indicam que esses depósitos correspondem a fácies de preenchimento de canais fluviais meandriformes. Morfologicamente (Friend et al., 1979), os registros dos canais distributários podem ser classificados como *ribbons* (onde a razão $L/P < 15$), predominantemente *single storey*, sendo observados, eventualmente, canais alados (*winged channels*). Trata-se de canais isolados, com pequena razão L/P (1:8; 1:11), instalados em ritmitos siltico-arenosos com marcas de raízes e *Skolithos* (tipificantes da associação de fácies de baía interdistributários).

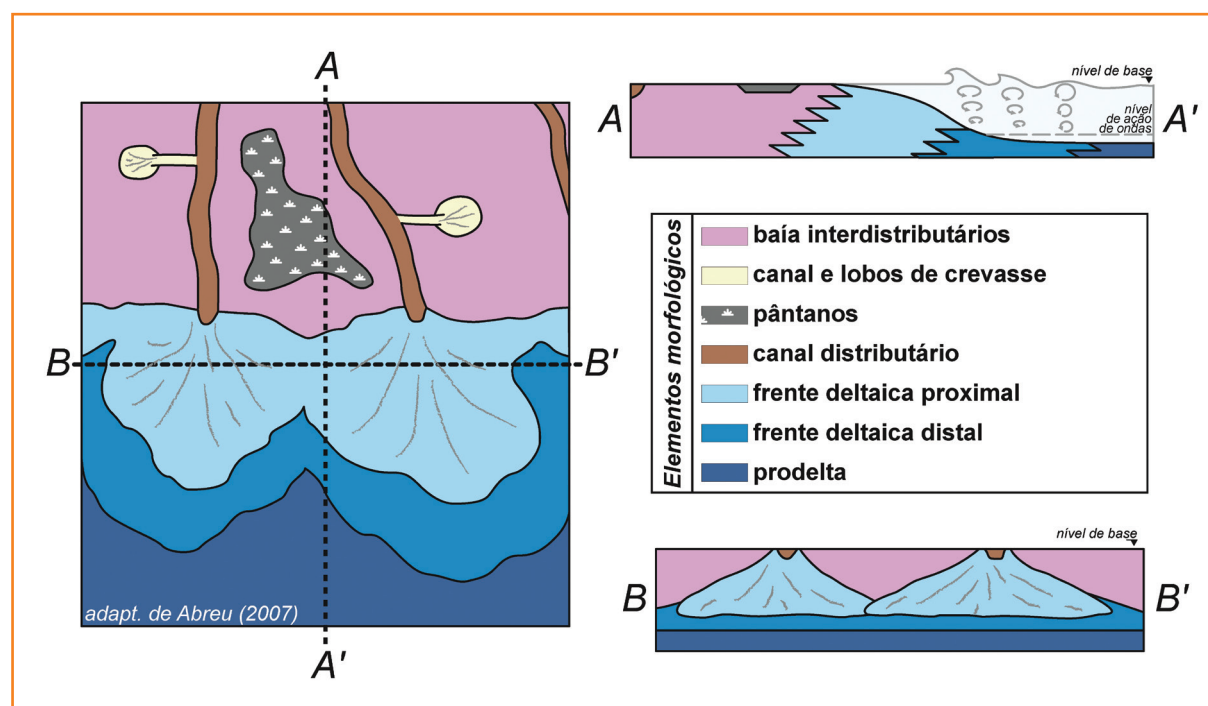


Figura 5
Representação esquemática da compartimentação de um sistema deltaico e dos elementos morfológicos constituintes. Seção longitudinal (A-A') e transversal (B-B') ao fluxo.

Figure 5
Schematic representation of deltaic systems and its morphological elements. Dip (A-A') and strike (B-B') sections.

A associação de fácies de rompimento de dique marginal inclui depósitos de canais e lobos de crevasse. Estes são representados por camadas lenticulares (de 0,5m a 1,1m de espessura) de arenitos finos a grossos, com estratificações cruzadas acanaladas de pequeno a médio porte e base erosiva, por vezes, parcialmente fluidizada, com fragmentos vegetais e grânulos nos planos de estratificação. Eventualmente, ocorrem associadas camadas lenticulares a tabulares, de 0,1m a 0,7m de espessura, de arenito fino a médio, com laminações cruzadas cavalgantes, parcialmente fluidizados. Já os depósitos de lobos de crevasse ocorrem como lentes arenosas, com laminação cruzada cavalgante e contato inferior levemente erosivo, associadas a ritmitos siltico-arenosos milimétricos a decimétricos. As paleocorrentes verificadas nessa associação de fácies são divergentes das predominantes no contexto fluvial em que estão inseridas, indicando sentido de transporte para NW ou SE.

As evidências descritas indicam que os depósitos de rompimentos de diques marginais incluem sedimentação gerada por tração de fluxos unidirecionais em regime de fluxo inferior (frações arenosas) e decantação por suspensão. A distinção entre fluxos canalizados (canais de crevasse) e desconfiados (lobos de crevasse) ocorre pela geometria e pela granulometria das camadas arenosas, sendo que, nos canais de crevasse, esses corpos têm geometria exclusivamente lenticular e base erosiva mais pronunciada.

A associação de fácies de baía interdistributários é composta por ritmitos siltico-arenosos, cuja espessura total varia de 2m a 12,9m, com predomínio da fração siltica sobre a arenosa. Esses depósitos heterolíticos são caracterizados por intercalações milimétricas a centimétricas, de camadas tabulares de siltitos laminados (laminação plano-paralela a cruzada cavalgante) ou maciços com marcas de raízes e arenitos finos a muito finos, preferencialmente com laminações cruzadas cavalgantes ou maciços com marcas de raízes, ocorrendo, também, com laminações plano-paralelas. Ocasionalmente, são verificadas ondulações simétricas e acamadamentos *wavy linsen* nesses depósitos. Os siltitos têm coloração cinza escuro ou em tons mais claros, eventualmente contendo fragmentos vegetais, e espessuras variáveis de 0,1m a 1,4m, enquanto os arenitos têm cor cinza esverdeada e espessuras variando de 0,2m a 1m. Entre essas fácies ocorrem, ainda, camadas de arenitos médios com estratificações cruzadas acanaladas contendo fragmentos milimétricos de matéria orgânica acumulada nos planos (0,2m a 0,6m de espessura), folhelhos carbonosos com lâminas de vitrênio (0,2m a 0,4m), folhelhos silticos de

coloração cinza escuro a esverdeado (0,2m a 0,6m) e níveis de carvão (de 2cm a 90cm). Nesse contexto, a presença de marcas de raízes e de leitos de carvões são as principais características diagnósticas dessa associação de fácies (fig. 6).

A presença de marcas de raízes sugere exposição subaérea, enquanto evidências de retrabalhamento por ação de ondas indicam ambiente deposicional subaquoso para essas litofácies. Tais depósitos indicam a coexistência ou alternância de condições subaéreas e subaquosas nas áreas de influência fluvial (interflúvios), possibilitando a deposição por decantação subaquosa das litofácies finas (carvão e folhelhos são interpretados como depositados em pântanos e turfeiras no interior de baías interdistributários). Neste contexto, as frações arenosas dos ritmitos constituem registro de rompimentos de diques marginais, relacionados aos canais distributários.

frente deltaica

Região localizada na interface entre o ambiente subaéreo e o subaquoso, a frente deltaica é o local onde ocorre a principal descarga de sedimento no corpo de água receptor (Reading, 1996). Os registros de frentes deltaicas são divididos em dois segmentos cogenéticos e contemporâneos: depósitos de frente deltaica proximal e deltaica distal.

A associação de fácies de frente deltaica proximal é constituída por arenitos lenticulares finos a médios, bem selecionados e frequentemente fluidizados ou com deformações que evidenciam processos de escorregamento. Quando não deformados, esses arenitos constituem clinoformas com até 15m de espessura, com geometria sigmoidal, característica mais diagnóstica da associação de fácies de frente deltaica proximal. As clinoformas são compostas por intercalações de camadas inclinadas de arenitos finos e arenitos médios, com estratificações cruzadas acanaladas de médio porte, contendo fragmentos de matéria orgânica nos planos de estratificação. Nessas macroformas, também são verificadas camadas com até 2m de espessura de arenitos finos a muito finos, com laminações cruzadas cavalgantes (*climbing ripples*) unidirecionais e camadas de até 0,4m de espessura de arenitos finos maciços, com fragmentos dispersos de matéria orgânica. Algumas camadas de arenito apresentam ondulações simétricas no topo,

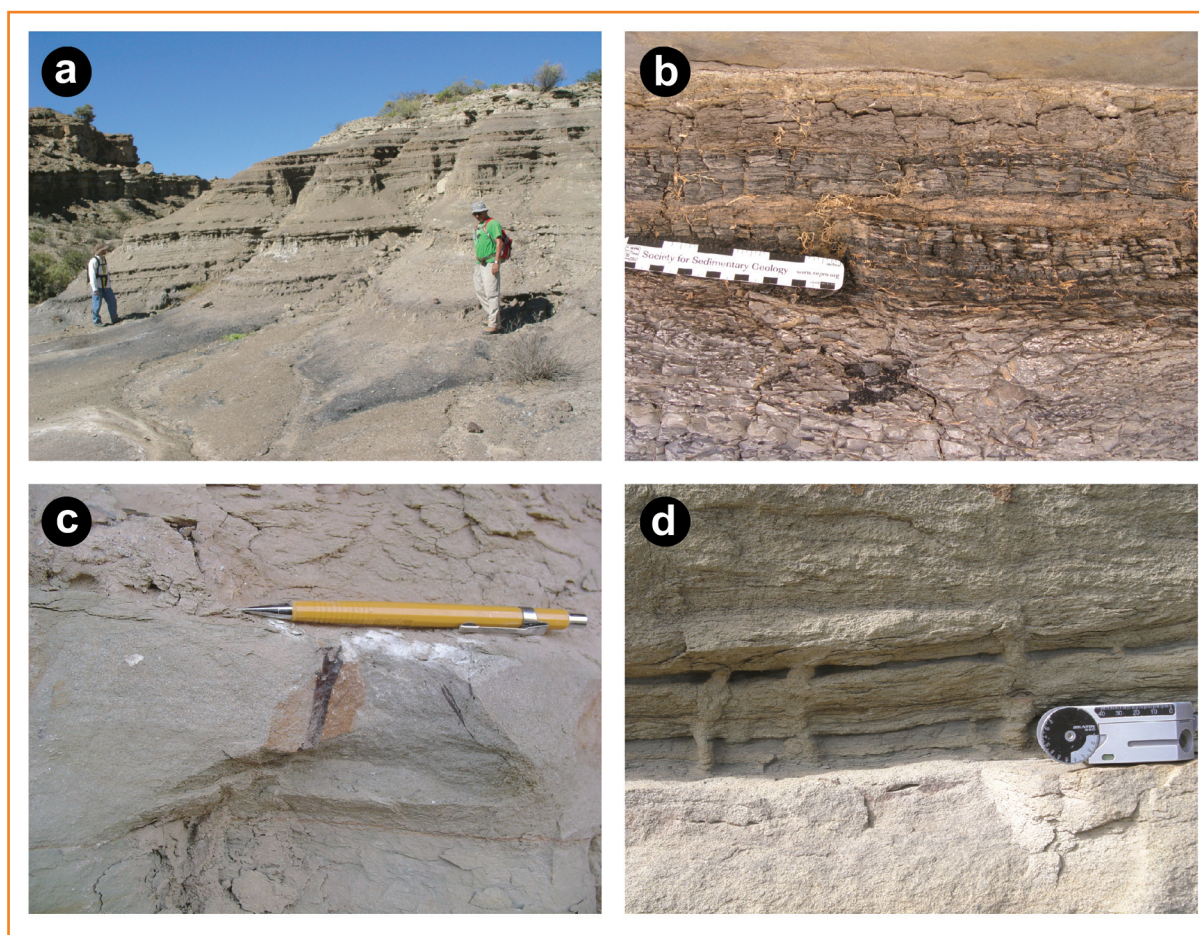


Figura 6

Fácies e feições diagnósticas que melhor representam a associação de fácies de baía interdistributários subaérea: (a) aspecto geral dos depósitos tabulares de baías interdistributários (ritmicos siltico-arenosos acima, e níveis de carvão, abaixo), pessoa como escala; (b) fotografia de detalhe de um nível de carvão; (c) camadas tabulares de arenito fino com marcas de raízes; (d) intercalações de camadas tabulares de arenitos finos a muito finos com laminação cruzada cavalgante e siltitos laminados, com bioturbações do icnogênero *Skolithos* (organismos típicos de ambientes rasos).

Figure 6

Facies and diagnostic features of subaerial distributary bays: (a) general aspects of the tabular deposits (sandy-siltic rhythmics, above, and coal beds, below), person for scale; (b) a coal bed close up photograph; (c) tabular fine sandstone layers with root traces; (d) fine to very fine rippled sandstone beds intercalated with laminar siltstones with *Skolithos* (a nearshore organism).

indicando retrabalhamento por ondas. Eventualmente, ocorrem lentes de ortoconglomerados no topo dessas clinoformas. Com estratificações cruzadas e grânulos e seixos pequenos a médios, entende-se que essas lentes sejam relacionadas a processos fluviais. As terminações inferiores das clinoformas apoiam-se, em *downlap*, sobre siltitos bioturbados, interpretados como depósitos de frentes deltaicas distais (fig. 7).

Interpreta-se que essas clinoformas tenham sido desenvolvidas em um sistema deltaico lacustre relativamente raso, sem fauna ou flora indicativas de ambiente marinho. O desenvolvimento de conjuntos de depósitos de frentes deltaicas proximais, não ultrapassando 30m de espessura total (fig. 7), remete a premissa de o lago ser relativamente raso, fato comprovado pelas incisões provocadas por quedas de nível de base (vales incisos) não terem profundidades superiores a 20m.

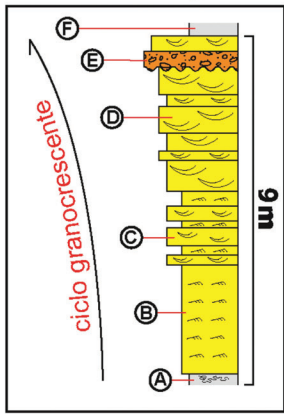
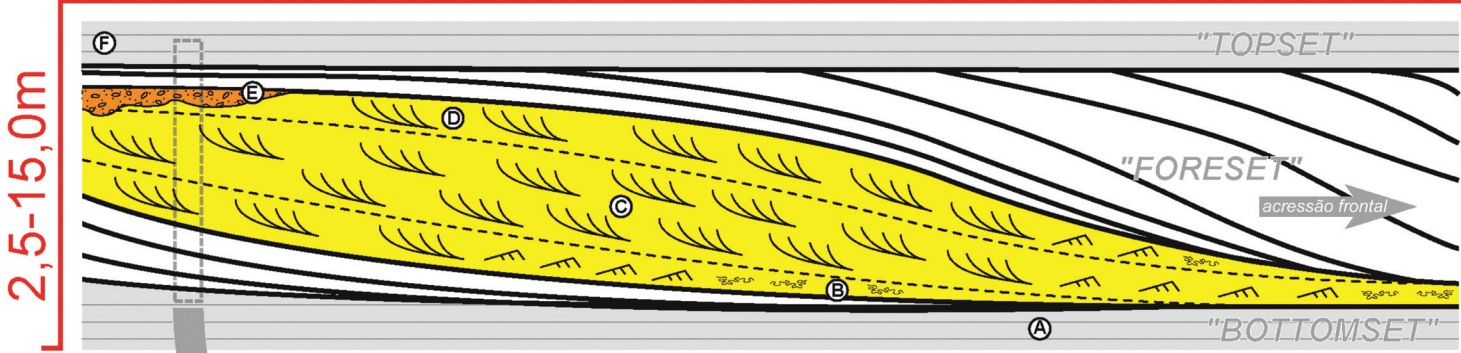
No conjunto, o empilhamento de sucessivas clinoformas permite individualizar a existência de *bottom* e *foresets* bem definidos no registro (fig. 8), motivo pelo qual Milana (1998) aborda o registro deltaico da Sub-bacia de Ischigualasto como sendo do tipo

Gilbert. Porém, a falta de sedimentos de granulometria grossa entre os depósitos de frente deltaica (Reading, 1996) denota se tratar de deltas de águas rasas (*shelf type delta*), desenvolvidos próximos à desembocadura dos rios, em uma bacia com baixo gradiente e baixas profundidades (lâmina d'água muito pequena), conforme sugere Melchor (2007) para a área de estudo.

A associação de fácies de frente deltaica distal é caracterizada por ritmicos siltico-arenosos, milimétricos a decimétricos (fig. 9). Camadas tabulares de siltitos maciços e/ou laminados intercalam-se em proporções variadas com arenitos finos a muito finos, com laminações plano-paralelas na base (menos frequentes), passando a laminações cruzadas cavalgantes para o topo, podendo apresentar bioturbações (icnogênero *Nereites*). Em conjunto, essas fácies formam pacotes com espessuras que variam de 20cm a 10m de espessura total. Interpreta-se que essas fácies representem a continuidade distal das clinoformas, caracterizando as frentes deltaicas proximais resultantes da progressiva desaceleração de fluxo (desconfinado) de frentes deltaicas.

20-35m

2,5-15,0m



- Ⓕ Camadas tabulares de siltitos bioturbados (icnogênero *Skolithos*), pacotes de folhelho silticos acinzentados, arenitos finos com marcas de raízes e carvão - **BAÍA INTERDISTRIBUTÁRIOS**
- Ⓖ Lentes (10-60cm) de ortoconglomerados sem estrutura aparente, gradando a arenitos médios a finos com estratificação cruzada acanalada - **CANAIS DISTRIBUTÁRIOS**
- Ⓓ Pacotes de até 1,5m de espessura, formados por lentes (20-30cm, cada) de arenitos médios a grossos com estratificação cruzada acanalada - **FRENTE DELTAICA PROXIMAL**
- Ⓒ Camadas lenticulares (10-20cm) de arenitos finos a médios com estratificações cruzadas acanaladas - **FRENTE DELTAICA PROXIMAL**
- Ⓑ Camadas tabulares (10-20cm, cada) de arenitos finos a muito finos com laminação cruzada cavalgante e de siltitos maciços, bioturbados (icnogênero *Nereites*) - **FRENTE DELTAICA DISTAL**
- Ⓐ Pacotes de siltitos e folhelhos de cor cinza esverdeada a negra (10-40cm), finamente laminados, com moldes de pelecípodas e raras camadas de arenito fino com grânulos dispersos - **PRODELTA**

Figura 7

Modelo esquemático de depósitos de frentes deltaicas proximais, onde estratificações cruzadas acanaladas gradam distalmente para laminações cruzadas cavalgantes.

Figure 7

Schematic model of a proximal fan delta, where cross bedded strata gradually became ripples in dip sections.



Figura 8 – Feição mais característica dos depósitos de frente deltaica proximal, as clinoformas são constituídas por lentes arenosas inclinadas apoiadas em relação de downlap sobre fácies distais (pessoas como escala).

Figure 8 – Clinoforms are internally composed of inclined sandy lenses downlapping distal facies and are an important feature from the proximal fan delta deposits (person for scale).

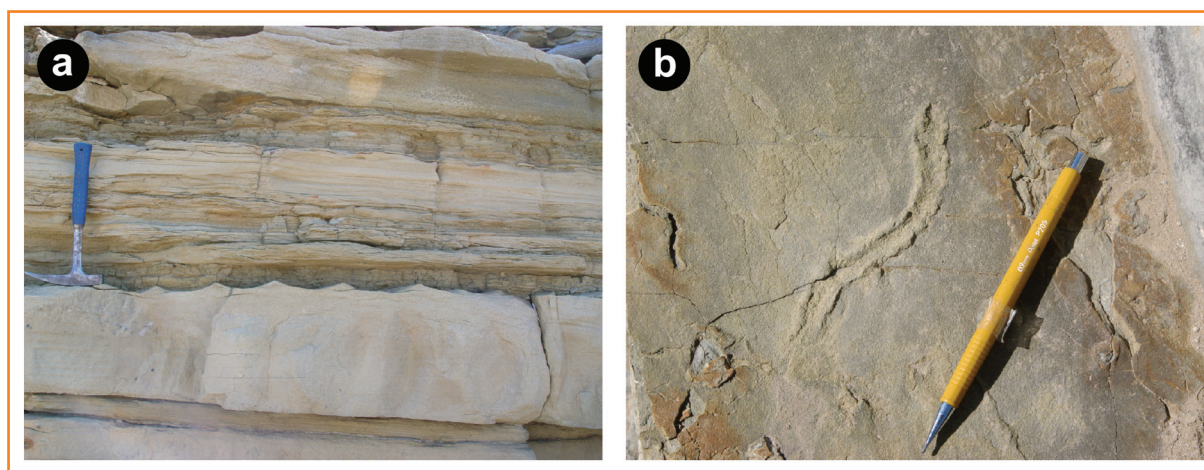


Figura 9

Nos depósitos de frente deltaica distal, os arenitos que compõem ritmitos areno-pelíticos e siltico-arenosos mostram (a) retrabalhamento do topo pela ação de ondas e (b) traços fósseis (icnogênero *Nereites*), típicos de águas relativamente mais profundas.

Figure 9

In the distal fan delta deposits, sandstones comprising sandy-pelitic to sandy-siltic rhythmites shows (a) wave reworking on the top and (b) ichnofossils (*Nereites*) of relatively deeper zones.

prodelta

Representado por pacotes tabulares de siltitos maciços e folhelhos de cor esverdeada a negra, finamente laminados e ricos em fragmentos vegetais e, às vezes, com moldes de pelecípodes (fig. 10). Ocorrendo, em média, com 4m de espessura, essas fácies chegam a atingir 10m. Espessuras menores (da ordem de dezenas de centímetros) são registradas como interdigitações com fácies de frente deltaica

distal. Melchor (2007) obteve valores de $TOC=1,0-2,84\%$ ($n=3$) para folhelhos negros lacustres, equivalentes às fácies de prodelta descritas no presente trabalho. As fácies de prodelta são interpretadas como depositadas por decantação e controladas pela circulação lacustre. As raras camadas centimétricas de geometria lenticular de arenitos finos a muito finos com grânulos e seixos dispersos são associadas a fluxos hiperpicnais, relacionados às porções mais distais das frentes deltaicas.

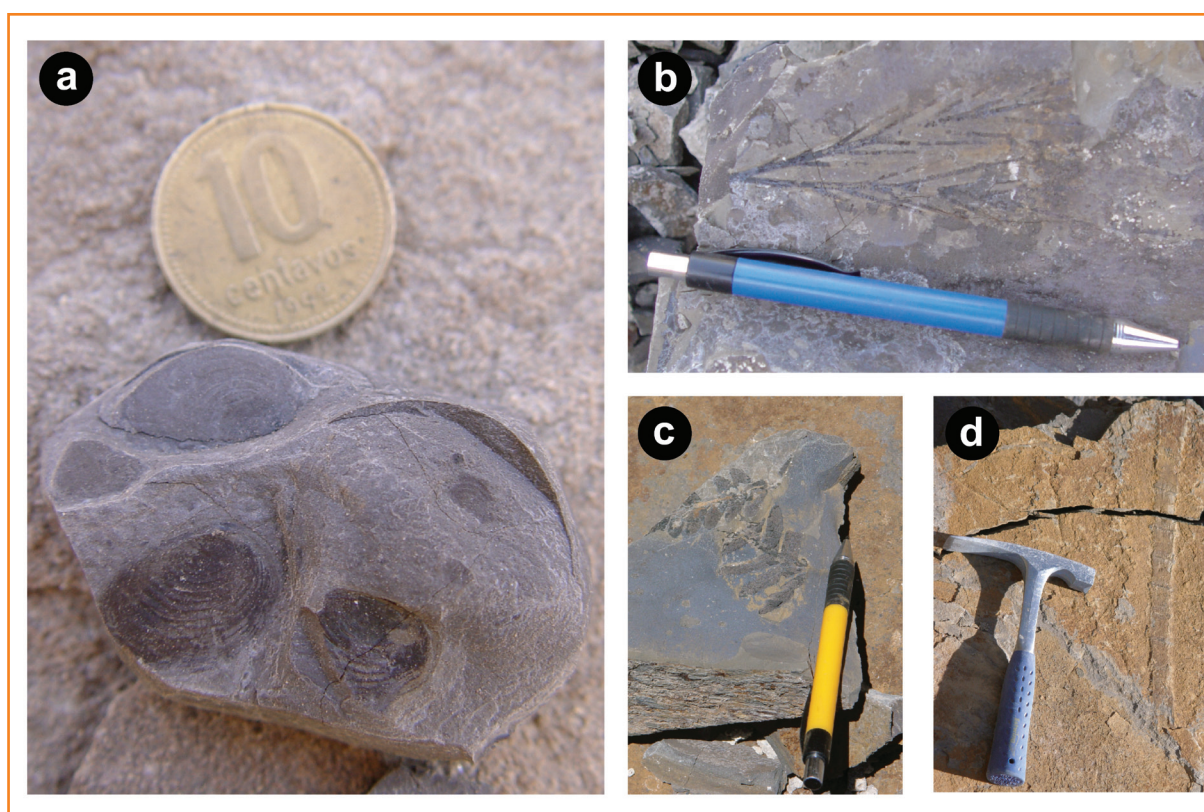


Figura 10

Os depósitos de prodelta consistem em pacotes de siltitos e folhelhos com (a) moldes e contramoldes de pelecípodes (bivalves de água doce) e fragmentos vegetais de origem continental (b-d), preservados em um ambiente pobre em oxigênio. Aqui, são ilustrados exemplares de *Neocalamites* (b); *Dicroidium* (c) e articulada (*Sphenophyta*) em (d).

Figure 10

Prodelta deposits are mainly siltstones and shales with (a) freshwater pelecipods and terrestrial vegetal remains (b-d) preserved in an oxygen poor environment. Here, are illustrated *Neocalamites* (b); *Dicroidium* (c) and an articulated (*Sphenophyta*) on (d).

análise estratigráfica

A sucessão vertical das associações faciológicas identificadas no intervalo estudado são interpretadas como a superposição de quatro pulsos sucessivos de progradação e afogamento de sistemas deltáicos em um ambiente lacustre. Esses pulsos são relacionados a variações climáticas, que refletem a passagem de condições mais áridas para condições mais úmidas, ocasionando flutuações do nível de base em um contexto de subsidência tectônica constante.

tratos de sistemas

A nomenclatura aqui empregada é uma adaptação da proposta por Van Wagoner et al. (1990) e Posamentier e Allen (1999), que utilizam os termos *lowstand*, *transgressive* e *highstand systems tracts*. Silva (1996) justifica o uso de uma nova nomenclatura em substituição à criada para bacias marginais marinhas, a qual não abrange claramente o empilhamento vertical de fácies em uma bacia continental tectonicamente ativa. Portanto, considera-se que a adoção dos termos tratos de sistemas de nível de lago baixo, transgressivo e de nível de lago alto traga, intrinsecamente, a idéia de potencial de acomodação.

trato de sistemas de nível de lago baixo (TSNLB)

O trato de sistemas de nível de lago baixo inicial é associado ao início da subida do nível relativo do lago e, consequentemente, a uma baixa taxa de acomodação. Compreende o preenchimento inicial dos vales incisos através da instalação de um sistema fluvial entrelaçado, que ocorre na forma de grandes *sheets* (em muitos casos, acompanhados por toda a área estudada) com padrão de empilhamento agradacional. Esses depósitos fluviais são os principais reservatórios potenciais no intervalo estudado, resultando em reservatórios do tipo quebra-cabeça (*jigsaw puzzle*) de Galloway e Hobday (1996), caracterizados pela justaposição vertical e lateral de corpos fluviais arenosos.

A gradual aceleração na taxa de subida do nível do lago produz uma mudança no padrão fluvial que, para o topo, passa a contar com depósitos de canais

fluviais meandrantos em meio a finos de planície de inundação. Essa mudança caracteriza o preenchimento final dos vales incisos e, desta forma, o trato de sistemas de nível de lago baixo tardio.

Vale ressaltar, que as espessuras dos registros contidos nos TSNLB têm relação direta com a profundidade de incisão gerada pelo rebaixamento do nível de base, variando entre 4m a 20m de espessura total, podendo apresentar variações locais de espessura e preenchimento devido à erosão irregular.

trato de sistemas transgressivo (TST)

Seguinte aos TSNLB e, portanto, balizado na base por uma Superfície Transgressiva (ST), os TST, trato de sistemas transgressivo, são delimitados no topo por uma Superfície de Inundação Máxima (SIM). Com taxa de acomodação crescente (Juhász et al., 2004), a taxa de subida do nível relativo aumenta progressivamente até superar a taxa de aporte/influxo sedimentar, conferindo um padrão retrogradacional (Coe, 2002) mantido até a SIM. Desta forma, os tratos de sistemas transgressivos interpretados no intervalo estudado são caracterizados por depósitos deltaicos, com predomínio de fácies de prodelta e frente deltaica e, secundariamente, de planície deltaica. O registro desses tratos de sistemas apresenta pouca ou nenhuma variação de espessura interna ao longo da área estudada, podendo gerar pacotes de 4m a 25m de espessura total, dispostos de forma uniforme pelo intervalo estudado. Em função dessa uniformidade, destaca-se o paralelismo entre as superfícies de inundação (ST e SIM), indicando estabilidade do rifte no intervalo de estudo (fase pós-rifte referida na figura 2), semelhante ao que Cremonini (1996) verificou no intervalo atribuído ao estágio pós-rifte da Bacia Potiguar.

tratos de sistemas de nível de lago alto (TSNLA)

Os TSNLA, tratos de sistemas de nível de lago alto, são balizados na base por uma Superfície de Inundação Máxima e limitados no topo por um Limite de Sequências (LS). Dessa forma, exibe base plana e topo bastante irregular (erosão diferencial). Esse trato de sistemas constitui pacotes com espessuras que variam de 8m a 56m, e está associado à fase de declínio na taxa de geração de espaço de acomodação (o progressivo aumento do aporte sedimentar supera a taxa de criação

de espaço de acomodação). Assim, o TSNLA inicia com padrão de empilhamento progradacional com importante componente agradacional e passa para um padrão francamente progradacional em direção ao topo. Na área investigada, esse trato de sistemas compreende, fundamentalmente, depósitos deltaicos de forma predominantemente progradacional. Por fim, Scholz e Rosendahl (1990) concluem que durante as fases de nível de base alto podem ocorrer processos gravitacionais (*slumps*, *slides* e fluxos de detritos) nas encostas dos hemigrábens, o que explicaria as frequentes fácies deformadas nos registros de frentes deltaicas proximais que fazem parte desse trato de sistemas.

sequências deposicionais (arcabouço estratigráfico e modelo deposicional)

Uma vez reconhecidas as superfícies estratigráficas e individualizados os tratos de sistemas, pôde-se delimitar as sequências deposicionais no intervalo estudado (fig. 11). Na escala deste trabalho, abordando ciclos na escala de sequências (Abreu, 2007), já que não há datações atreladas a este espaço amostral, e,

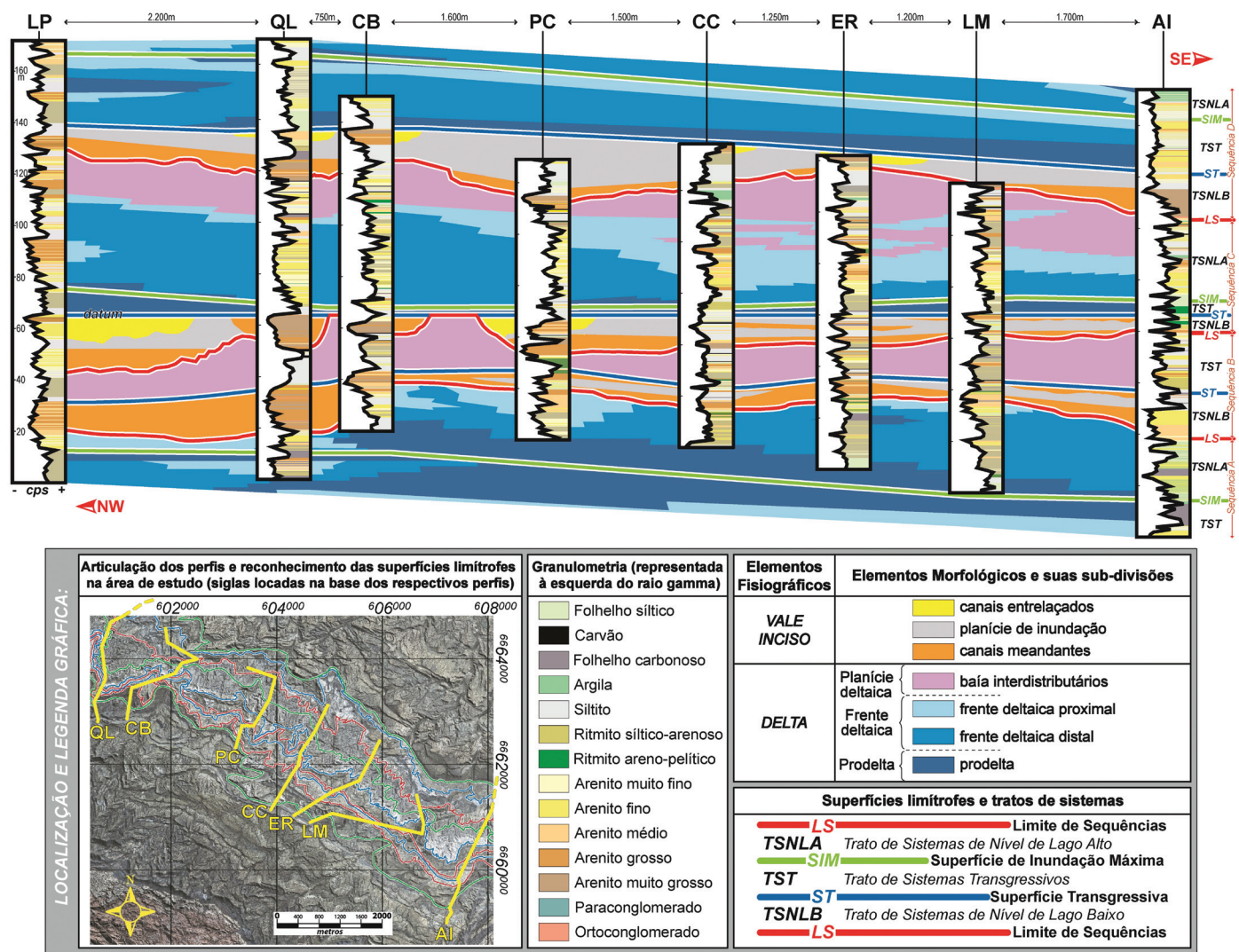


Figura 11 – Correlação estratigráfica dos perfis levantados (exceto pelo perfil LP, de López, 1995, utilizado como referência), com reconhecimento de fácies, associações de fácies, superfícies limitrofes, tratos de sistemas e sequências deposicionais na escala de sequências no intervalo selecionado para estudo. A continuidade lateral dos mesmos foi atestada através da análise de imagem Ikonos.

Figure 11 – Stratigraphic correlation for the interval, recognizing facies, facies association, stratigraphic surfaces, systems tracts and depositional sequences in the studied interval. Lateral continuity is provided by Ikonos analyses (profile LP from López, 1995).

portanto, não sendo possível determinar a duração ou ordem desses ciclos, houve delimitados eventos que denotam, em sua essência, variações climáticas e no aporte sedimentar. Nesse sentido, o intervalo estudado envolve quatro sequências deposicionais distintas: A, B, C e D.

O arcabouço gerado demonstra grande similaridade entre as sequências deposicionais identificadas, como sugere a sequência idealizada da figura 12, que ilustra de forma esquemática a sucessão vertical dos elementos morfológicos contida entre dois pontos de inflexão (queda) eustática, ou seja, limites de sequências. Após uma incisão fluvial mais ou menos acentuada (LS) ocorre o preenchimento destas por depósitos fluviais, inicialmente associados a sistemas entrelaçados (TSNLB inicial) que gradam verticalmente para sistemas meandantes (TSNLB tardio). Sempre de forma abrupta (ST), há a sobreposição de fácies deltaicas, usualmente subaquáticas, sobre os registros do TSNLB, indicando, assim, uma aceleração na taxa de geração de espaço de acomodação. Essa fase é caracterizada por interdigitações de fácies deltaicas, usualmente seguindo um padrão estrato/granodrecente que indica um padrão retrogradacional (TST), culminando com a formação de uma SIM. Acima desta superfície, persistem depósitos deltaicos, porém, denotando tendência de raseamento para o topo (regressão normal), associada à progradação

do sistema deltaico (TSNLA). Esse padrão é mantido, podendo incluir depósitos bem desenvolvidos de planície deltaica, até o momento em que a regressão perde o caráter normal e uma nova incisão (regressão forçada) leva à geração de um novo LS.

Ao analisar o padrão de dispersão das paleocorrentes medidas dentro de cada uma das quatro sequências (A-D), tanto de dunas 3D como de *ripples*, e, sobretudo, do conjunto de medidas como um todo, foi possível verificar que o transporte era preferencialmente de SW para NE, como ilustra a figura 13. Considerando a Sutura de Valle Fértil como o limite ocidental da Sub-bacia (vide figura 1), as paleocorrentes medidas sugerem transporte (*input*) preferencialmente proveniente da borda falhada, em analogia ao que ocorre no Lago Bogória, no Sistema Ríft do Leste Africano (Le Gall *et al.*, 2000). Dada a considerável distância da área de estudo até a Sutura de Valle Fértil, assume-se que a alimentação do sistema flúvio-deltaico aqui descrito esteve relacionada a leques aluviais desenvolvidos desde a borda falhada do rifte, em analogia ao exemplo do Lago Baringo, no Quênia, também apresentado por Le Gall *et al.* (2000).

Sumarizando as informações aqui apresentadas, a figura 14 visa representar esquematicamente o modelo deposicional interpretado para o intervalo estudado.

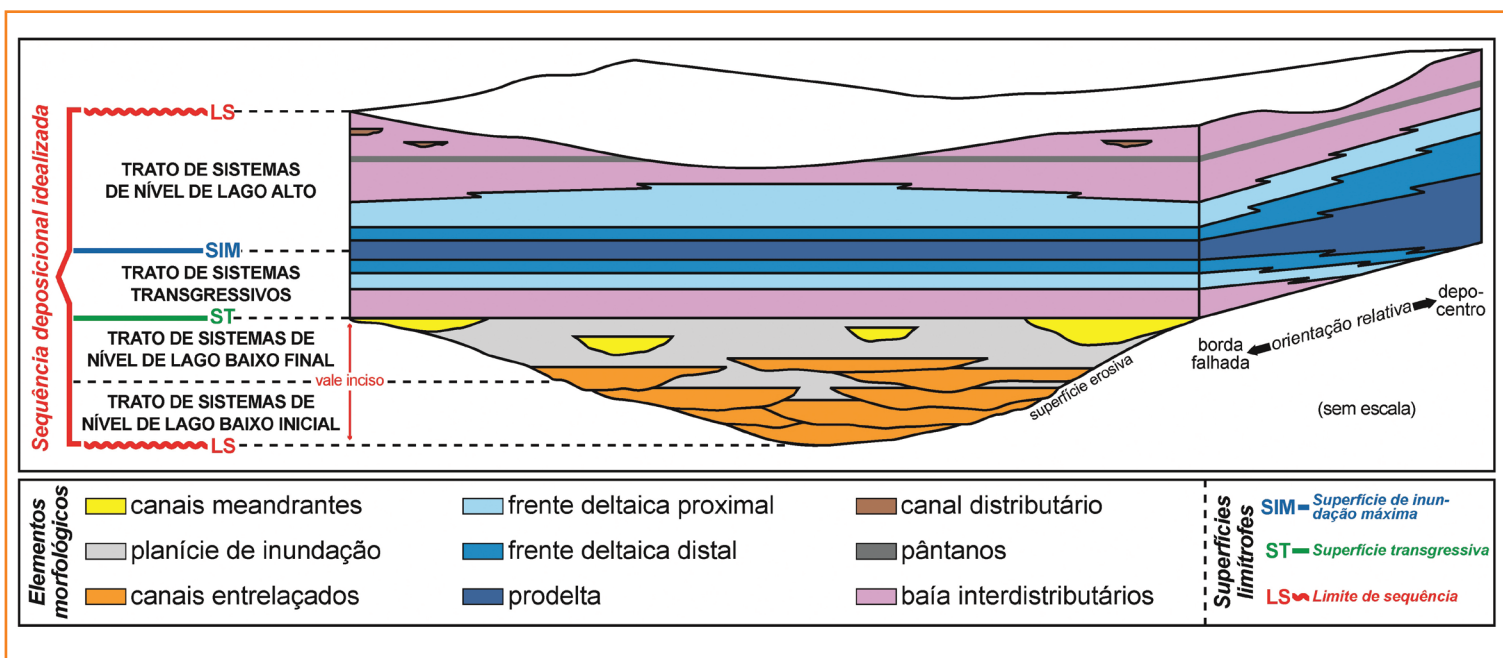


Figura 12 – Modelo esquemático para sequências deposicionais, ilustrando as principais superfícies estratigráficas, tratos de sistemas e os elementos morfológicos associados.

Figure 12 – Schematic model for depositional sequences, showing major surfaces, system tracts and morphological elements.

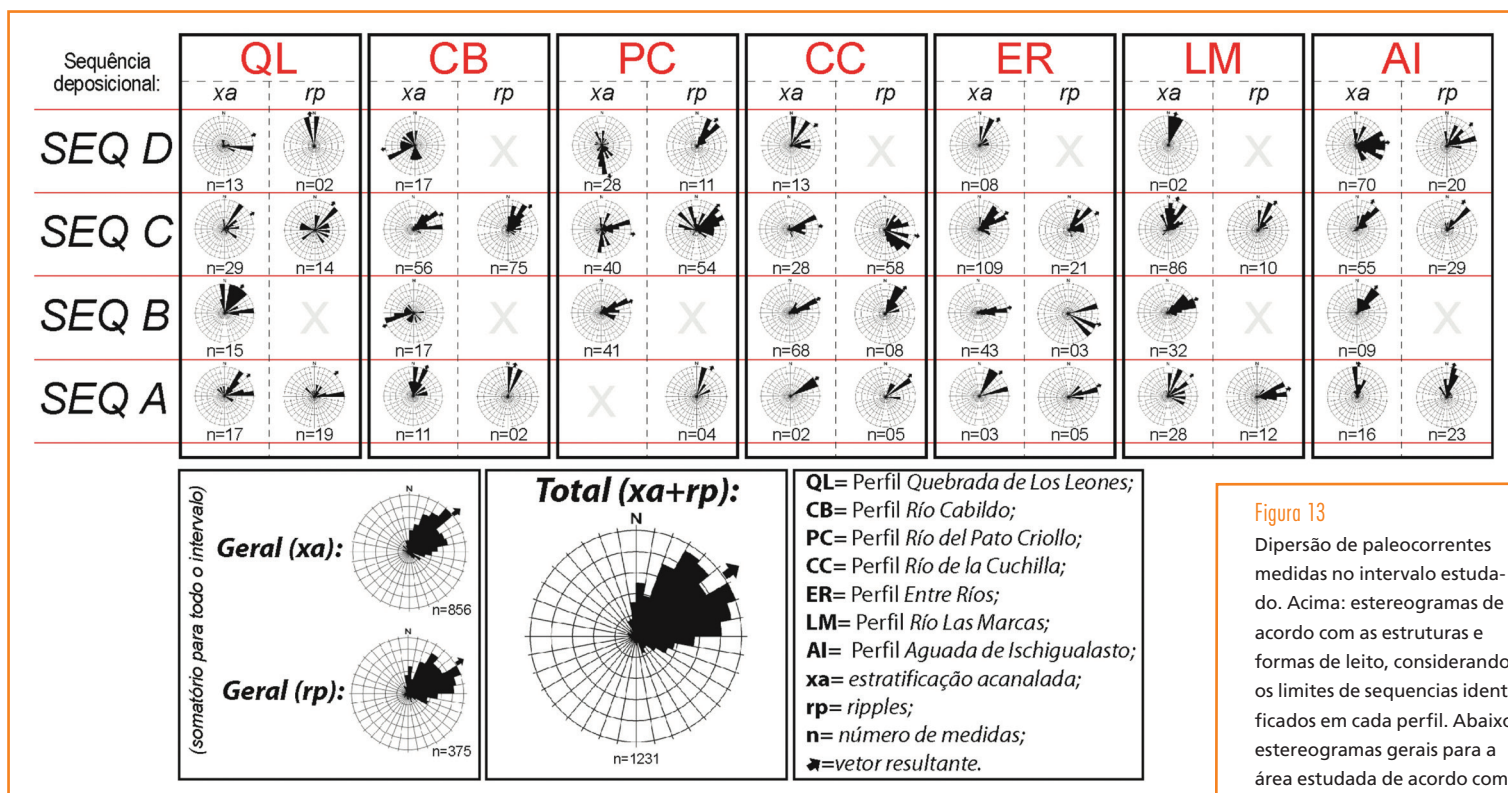


Figura 13

Dispersão de paleocorrentes medidas no intervalo estudado. Acima: estereogramas de acordo com as estruturas e formas de leito, considerando os limites de sequências identificados em cada perfil. Abaixo: estereogramas gerais para a área estudada de acordo com o tipo estrutura sedimentar medida (à esquerda); e estereograma geral para o intervalo estudado (à direita).

Figure 13

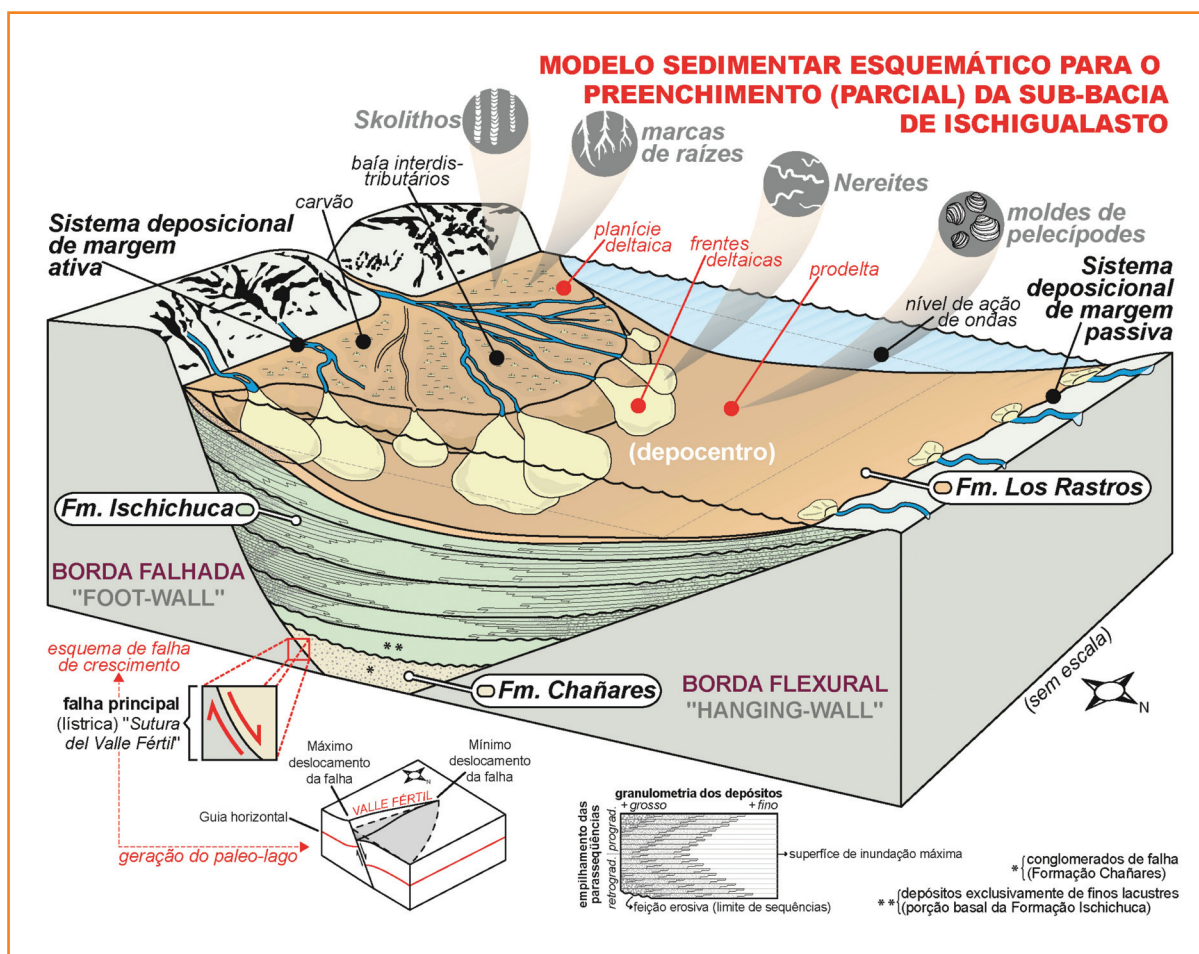
Paleocurrents dispersion into the studied area. Above, rose diagrams according to the types of structures and bed forms, considering sequence boundaries in each profile. Below, general rose diagrams for the studied area according to sedimentary structures (on the left) and general rose diagram for the entire interval (on the right).

Figura 14

Modelo deposicional proposto para a área estudada em um bloco diagrama simplificado, reunindo em uma única situação de nível de base as associações de fácies identificadas neste trabalho.

Figure 14

Depositional model proposed for the studied area on a simplified block diagram, unifying facies association in a single base level situation.



conclusões

As paleocorrentes medidas indicam direção de transporte preferencialmente NE, sugerindo aporte sedimentar proveniente da borda falhada do rifte (Sutura de Valle Fértil). Dessa forma, a sedimentação do intervalo estudado na Sub-Bacia de Ischigualasto difere de modelos usuais para sistemas rifte, onde o aporte se dá preferencialmente a partir da borda flexural. Assim, a sedimentação do intervalo estudado é comparável ao que ocorre atualmente nos lagos Bogória e Baringo (Sistema de Rifte do Leste Africano).

O paralelismo entre as superfícies transgressivas e de inundação máxima atesta relativa quiescência tectônica (subsidência homogênea) e permite tratar o intervalo estudado como pertencente a um estágio pós-rifte, implicando que a assinatura estratigráfica deste intervalo tenha sido controlada por variações climáticas.

Tais variações foram responsáveis pela geração e preenchimento de vales incisos, produzidos por ciclos de rebaixamento e posterior soerguimento do nível de base. As incisões geradas por quedas relativas do nível de base do paleolago tiveram seu preenchimento inicialmente representado por corpos arenoconglomeráticos de origem fluvial, com padrões de canais entrelaçados amalgamados (Trato de sistema de nível de lago baixo inicial). Este estilo fluvial passa progressivamente a depósitos de canais fluviais meandantes instalados sobre sedimentos finos de planície de inundação, interpretados como o registro do aumento da taxa de geração de espaço de acomodação, coincidente com as fases de elevação do nível do lago (trato de sistemas de nível de lago baixo tardio). Em conjunto, os tratos de sistemas de nível de lago baixo inicial e final preenchem os vales incisos.

Sobre os depósitos fluviais (e zonas de interflúvio), justapõem-se, de forma abrupta, depósitos deltaicos (usualmente subaquáticos), denotando o progressivo recuo da linha de costa (padrão de empilhamento retrogradacional) do trato de sistema transgressivo.

Os tratos de sistemas de nível de lago alto são caracterizados pela progressiva progradação do sistema deltaico, pois iniciam com depósitos de prodelta (exclusivamente depositados por decantação) gradando verticalmente para depósitos de frente deltaica proximal (depositados por processos trativos), que predominam neste trato de sistema. A tendência de raseamento para o topo (regressão normal), associada à progradação do sistema deltaico, pode incluir depósitos bem desenvolvidos de planície deltaica,

até o momento em que a regressão perde o caráter normal e uma nova incisão (regressão forçada) leva à geração de um limite de sequências.

agradecimentos

Os autores gostariam de expressar sua gratidão ao professor Ernesto Lavina, bem como aos pesquisadores da Unisinos, Claus Falgater e Renato Bidóia, que participaram efetivamente no levantamento e tratamento dos dados aqui apresentados. Agradecemos, também, a participação de professores e funcionários da Universidade Nacional de San Juan e geólogos da Petrobras, que tiveram participação em algum momento deste trabalho, especialmente, ao Andrade Ramos e Gilmar Bueno. Cristiano Fischer gostaria de expressar agradecimento pessoal a Vitor Abreu e Cristina Pierini pelos aconselhamentos.

referências bibliográficas

- ABREU, V. Sequence stratigraphy applied to exploration. **AAPG Bulletin**, 2007. (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, short Course).
- ANDERSON, J. M.; ANDERSON, H. M. Terrestrial flora and fauna of the Gondwana Triassic: part 1 - occurrences. **The Nonmarine Triassic. Bulletin**, v. 3, p. 3-12, 1993.
- ASHLEY, G. M. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. **Journal of Sedimentary Petrology**, n. 60, p. 160-172, 1990.
- BOSSI, G. E. Análisis de la cuenca ischigualasto-ischi-chuca. In: CONGRESO HISPANO-LUSO-AMERICANO DE GEOLOGÍA ECONÓMICA, 2., n.1, 1971, Madrid. **Actas...** Madrid, 1971.
- COE, A.; BOSENCE, D.; CHURCH, K.; FLINT, S.; HOWELL, J.; WILSON, C. **The sedimentary record of sea level change**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2002. 288 p.
- CREMONINI, O. A. Evolução tectônica da área de Ubarana, Porção submersa da Bacia Potiguar. **Boletim**

de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 10, n.1/4, p. 81-97, Dez. 1996.

DEPTUCK, M. E.; SYLVESTER, Z.; PIRMEZ, C.; O'BYRNE, C. Migration-aggradation history and 3-D seismic geomorphology of submarine channels in the Pleistocene Benin-major Canyon, western Niger Delta slope. **Marine and Petroleum Geology**, v. 24, p. 406-433, 2007.

FISCHER, C. M. **Arquitetura estratigráfica da porção basal da Formação Los Rastros**: Bacia de Ischigualasto, Província de San Juan na Argentina. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Rio Grande do Sul, 2008.

FRIEND, P. F.; SLATER, M. J.; WILLIAMS, R. C. Vertical and lateral building of river sandstone bodies, Ebro Basin, Spain. **Journal of the Geological Society of London**, v. 106, p. 36-46, 1979.

GALLOWAY, W. E.; HOBDAV, D. K. **Terrigenous clastic depositional systems**. Nova York: Springer Verlag, 1996. 489p.

JUHÁSZ, G.; MÜLLER, P.; TÓTH-MAKK, A. Alluvial architecture and fluvial cycles in quaternary deposits in a continental Interior Basin, E Hungary. **Geologia Croatica**, v. 57, n. 2, p. 171-190, 2004.

LE GALL, B.; TIERCELIN, J. J.; RICHERT, J. P.; GENTE, P.; STURCHIO, N. C.; STEAD, D.; LETURDU, C. A morpho-tectonic study of an extensional fault zone in a magma-rich rift: the Baringo Trachyte Fault System, central Kenya Rift. **Tectonophysics**, v. 320, p. 87-106, 2000.

LÓPEZ, S. **Estudio estratigráfico secuencial y oleogeoquímico del paleolago Ischichuca**: los Rastros en el Parque Ischigualasto; comparación con los sistemas de Mendoza norte y su relación con la exploración de hidrocarburos. 1995. Tese (Licenciatura) – Universidad Nacional de San Juan, San Juan, 1995.

MELCHOR, R. N. Changing lake dynamics and sequence stratigraphy of sinrift lacustrine strata in a half-graben: an example from the Triassic Ischigualasto-Villa Unión Basin, Argentina. **Sedimentology**, v. 54, p. 1417-1446, 2007.

MILANA, J. P. Anatomía de parasecuencias en un lago de rift y su relación con la generación de hidrocarburos, cuenca triásica de Ischigualasto, San Juan.

Revista de la Asociación Geológica Argentina, v. 53, n. 3, p. 365–387, 1998.

POSAMENTIER, H. W.; ALLEN, G. P. Siliciclastic Sequence Stratigraphic: concepts and applications. **Special Publication of International Association of Sedimentologists**, Oklahoma, p. 13-27, 1990.

RAMOS, V. A. Rasgos estructurales del territorio argentino. 1. Evolución tectónica de la Argentina. In: GEOLOGÍA ARGENTINA, 29., 1999, **Anales...** Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales, n. 24, p. 715-784.

READING, H. G. **Sedimentary Environments: processes, facies and stratigraphy**. Malden: Blackwell Science, 1996. 688p.

SCHOLZ, C. A.; ROSENDAHL, B. R. Coarse-clastic facies and stratigraphic sequence models from Lakes Malawi and Tanganika, East Africa. In: KATZ, B. J. (Ed.) Lacustrine Basin exploration-case studies and modern analogs. **AAPG Memoir**, Tulsa, v. 50, p. 151-168, 1990.

SILVA, H. T. F. Análise cronoestratigráfica de rift intracontinentais: reflexões sobre os conceitos e a nomenclatura em uso. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1-4, p. 5-17, dez. 1996.

STIPANICIC, P. N. El Triásico en la Argentina. In: STIPANICIC P. N.; MARSICANO C. A. (Ed.) **Léxico estratigráfico de la Argentina**. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina, 2002. p. 370.

STIPANICIC, P. N.; BONAPARTE, J. F. Cuenca triásica de Ischigualasto - Villa Unión (Provincias de San Juan y La Rioja). In: SIMPOSIO DE GEOLOGÍA REGIONAL ARGENTINA, 1., 1979, **Anales...** Córdoba: Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, 1979. p. 523-575.

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

expanded abstract

The studied area, located into the Ischigualasto Sub-basin, is a rift segment that makes up part of the Bermejo Basin in central west Argentina. This rift system was produced by the Gondwana's western extension during the Paleozoic and Mesozoic. The Valle Fertil Suture had acted as the boundary fault on its west side and the resulting rift basin was filled in during the Triassic mostly by fluvial-deltaic dynamics.

Based on seven outcrop profiles description (QL, CB, PC, CC, ER, LM, AI) and another (LP) taken from the literature, this study presents a sequence stratigraphic framework for the lowermost portion of Los Rastros Formation. These profiles contain, in some cases, approximately 120m thick (1:50 and 1:100) described sections and this interval is made up of four depositional sequences in the sequence scale (there are no age controls, so, duration of the events or cycles order cannot be established). Inside this interval, flooding surfaces are parallel, implying equal subsidence in the area. Therefore, this section probably represents a post-rift stage where climatic fluctuations were the main control of the depositional sequences.

Facies and facies associations were recognized in each profile, by analyzing the gamma-ray logs presented in figure 11. Changes in vertical stacking and stratal relationships were used to define sequence stratigraphic surfaces (sequence boundaries, transgressive and maximum flooding surfaces), systems tracts and related depositional sequences.

Nine lithofacies associations were recognized, defining the following depositional environments: braided fluvial channels, floodplains, meandering fluvial channels, distributary channels, levees, interdistributary bays, proximal and distal fan deltas, and prodelta. The first three lithofacies associations represent incised valley fills, while the others are related to deltaic deposition.

Braided fluvial channels are mainly represented by cross-bedded, coarse to medium-grained sandstones with erosional base and organized in fining upward successions of regional extension. On the top of the braided channels, the sedimentary record is dominated by fine-grained lithofacies, consisting of floodplain deposits with lenses of medium to coarse-grained sandstones, interpreted as meandering fluvial channels. Meandering channels are differentiated from braided channels mostly by the narrower aspect ratio of the sand bodies (width/depth) and stratigraphic position towards the top of the incised valley fill succession. Both fluvial systems form sheet sands and this succession (braided to meandering channels and floodplain deposits on the top) form the entire lowstand system tracts.

On top of the lowstand system tracts, the transgressive systems tracts are recognized by retrogradational sets of

parasequences (mostly delta plains and fan delta deposits), delimited at the top by maximum flooding surfaces. In the studied area, condensed sections are represented by prodeltaic shales defined by the high radioactive peaks in the gamma-ray logs. Above the maximum flooding surfaces, the highstand system tracts are defined by progradational parasequence sets initially consisting of proximal fan delta with fine-grained sigmoidal sandstones, overlapping heterolithic distal facies. The resulting clinoforms are covered by coal beds and silt-sandy rhythmites with root traces, representing delta plain deposits.

Isolated lenticular sandy bodies (ribbons) occur at the top of the highstand systems tract and are interpreted as distributary channels. These channels have restricted occurrences and smaller dimensions than the fluvial sand bodies of lowstand system tracts.

A relevant observation is that the sedimentary succession in the study area does not present significant changes in thickness for each depositional sequence, indicating that most of the deposition probably occurred during a time of tectonic quiescence. Therefore, accommodation was probably created at that time by regional subsidence rather than by local tectonics due to growth faults, indicating that this sedimentary succession was deposited during a post-rift phase.

Most of the measured paleocurrents indicate a NE trend, from the footwall uplands (Valle Fertil Suture zone), and considering the significant distance between this faulted zone and the studied area location, the depositional systems are interpreted as a fan system, similar to that present in the Baringo Lake (East African Rift System, Kenya).