

Distinção dos elementos deposicionais fluviais, eólicos e lacustres do Membro Morro Pelado, Permiano Superior da Bacia do Paraná

Distinction of the fluvial, aeolian and lacustrine elements of Morro Pelado Member, Late Permian of Paraná Basin

Danielle Cristine Buzatto Schemiko¹, Fernando Farias Vesely¹, Luiz Alberto Fernandes¹,
Guilherme Arruda Sowek¹

¹Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Centro Politécnico - Jardim das Américas, Caixa Postal 19001, CEP 81531-990, Curitiba, PR, BR (danielleschemiko@gmail.com; vesely@ufpr.br; lufernandes@ufpr.br; arrudayoh@gmail.com)

Recebido em 18 de janeiro de 2014; aceito em 30 de junho de 2014

Resumo

O topo da Formação Rio do Rasto, Bacia do Paraná, corresponde ao Membro Morro Pelado, unidade composta pela associação de depósitos fluviais, eólicos e lacustres. A fim de retratar os elementos deposicionais presentes e caracterizar o estilo de sedimentação fluvial, uma análise faciológica foi realizada na faixa de afloramentos do leste dos estados de Santa Catarina e do Paraná. O Membro Morro Pelado é formado por quatro associações litofaciológicas: A, B, C e D. A associação litofaciológica A corresponde aos depósitos de canais meandantes, presente na zona intermediária de um sistema fluvial distributário. A associação litofaciológica B pertence à zona distal do sistema fluvial, onde predominam depósitos de fluxos em lençol e canais retilíneos rasos (espraiamentos terminais fluviais). A associação litofaciológica C é definida como um sistema deltaico dominado por rios desenvolvido em momentos de subida do nível de base e formação de lagos. Por fim, a associação litofaciológica D caracteriza-se por depósitos de dunas (DU) e interdunas (IDU) recorrentes adjacentes a todas as porções do sistema fluvial distributário. O empilhamento estratigráfico revela aumento da quantidade e espessura dos depósitos eólicos em direção ao topo, indicando incremento da aridez no ambiente deposicional e expansão dos campos de dunas em direção às margens da bacia.

Palavras-chave: Sistema fluvial; Clima semiárido; Interação fluvial-eólico; Elemento arquitetônico.

Abstract

The Late Permian Morro Pelado Member is the upper part of the Rio do Rasto Formation of Paraná Basin and is composed of an association of fluvial, eolian and lacustrine deposits. In order to depict its facies associations and depositional elements as well as to characterize the fluvial style, a facies and architectural element analysis was carried out in the eastern outcrop belt in Santa Catarina and Paraná States, southern Brazil. Four facies associations (FA) were recognized: FA-A is interpreted as mixed-load meandering fluvial systems, with conspicuous laterally accreted macroforms, levees and floodplain fines; FA-B was deposited as terminal splays in the distal parts of the fluvial system, where sheet floods prevailed; FA-C defines a fluvial-dominated lacustrine delta formed in response to episodes of extreme flooding and rising water table in the terminal splay zone; FA-D comprises eolian dunes, wet and damp interdunes and eolian sand sheets that occur interbedded with the fluvial and lacustrine deposits marking periods of aridization in the alluvial plain. The vertical stacking pattern shows an upward increase in frequency and thickness of eolian deposits recording progressive expansion of the erg systems towards basin margins in response to progressive drying combined with high rates of accommodation and sediment supply.

Keywords: Fluvial system; Semi-arid climate; Fluvial-eolian interaction; Architectural elements.

INTRODUÇÃO

O Membro Morro Pelado compreende a parte superior da Formação Rio do Rasto, unidade essencialmente siliciclástica acumulada na Bacia do Paraná durante o Neopermiano. Corresponde à fase final de continentalização da bacia no Permiano, resultante do progressivo fechamento do mar epicontinental associado à colagem do terreno patagônico ao paleocontinente Gondwana (Lavina, 1991).

O Membro Morro Pelado tem sido caracterizado como uma complexa interação entre depósitos lacustres, fluviais e eólicos, o que tem resultado em diversas interpretações paleoambientais, tais como: ambiente de planície de inundações e canais (Gordon Jr., 1947; Northfleet et al., 1969); lagoas isoladas e temporárias (Beurlen, 1954); ambiente de planície de inundações, canais e lagos (Mendes, 1967); fluvial meandrante em planície deltaica e dunas eólicas (Schneider et al., 1974; Gama Jr., 1979); pequenos corpos d'água contornados por áreas emersas com rios efêmeros e predominância de dunas eólicas (Lavina, 1991; Rohn, 1994); lago raso (preenchido por barras de desembocaduras) e sistema eólico, com rios efêmeros e interdunas (Rohn e Rösler, 2000); sistema deltaico dominado por rios em interação com dunas eólicas (Warren et al., 2008).

A variedade de interpretações paleoambientais para o Membro Morro Pelado deve-se a certa homogeneidade dos estratos areníticos tabulares, acunhados e lenticulares, que se intercalam a pelitos avermelhados, os quais podem corresponder aos diferentes elementos deposicionais. Dessa maneira, o presente trabalho consiste em análise das litofácies e da arquitetura deposicional visando contribuir para o melhor entendimento do contexto deposicional da unidade no que tange à distinção dos elementos deposicionais fluviais, eólicos e lacustres. Para tanto, foi investigada a faixa de afloramentos de depósitos neopermianos na região leste dos estados de Santa Catarina e do Paraná.

MÉTODOS

A área estudada compreende a extensão da borda leste da bacia nos estados de Santa Catarina e do Paraná (Figura 1). Localmente, na região de Lages (SC), as exposições do Membro Morro Pelado são distribuídas concentricamente, efeito proporcionado pela estrutura dômica braqui-anticlinal (Domo de Lages), com gênese relacionada ao alojamento de rochas alcalinas subvulcânicas de idade cretácea-paleógena (Scheibe, 1986).

A descrição detalhada de litofácies associada à coleta de dados de paleocorrentes (conforme os métodos de Miall, 1990) e a confecção de fotomosaicos em exposições lateralmente contínuas permitiram a interpretação de elementos arquitetônicos (no sentido de Miall, 1985, 1996, 2006).

Para todas as litofácies, foram deduzidos os processos físicos supostos para sua formação. A partir do reconhecimento do seu caráter genético, as litofácies e os elementos arquitetônicos foram agrupados em associações de litofácies.

A análise de litofácies sedimentares seguiu os princípios de análise faciológica propostos por Reading (1986), Walker e James (1992), Posamentier e Walker (2006) e Miall (1978, 1990, 1996, 2006). No sentido de classificação de superfícies limitantes de elementos arquitetônicos, adotou-se o método de classificação para depósitos fluviais de Miall (1978, 1985, 1996) e DeCelles et al. (1991). Para depósitos eólicos, foi aplicada a classificação de superfícies de truncamento de Kocurek (1981, 1988).

ESTUDOS ANTERIORES

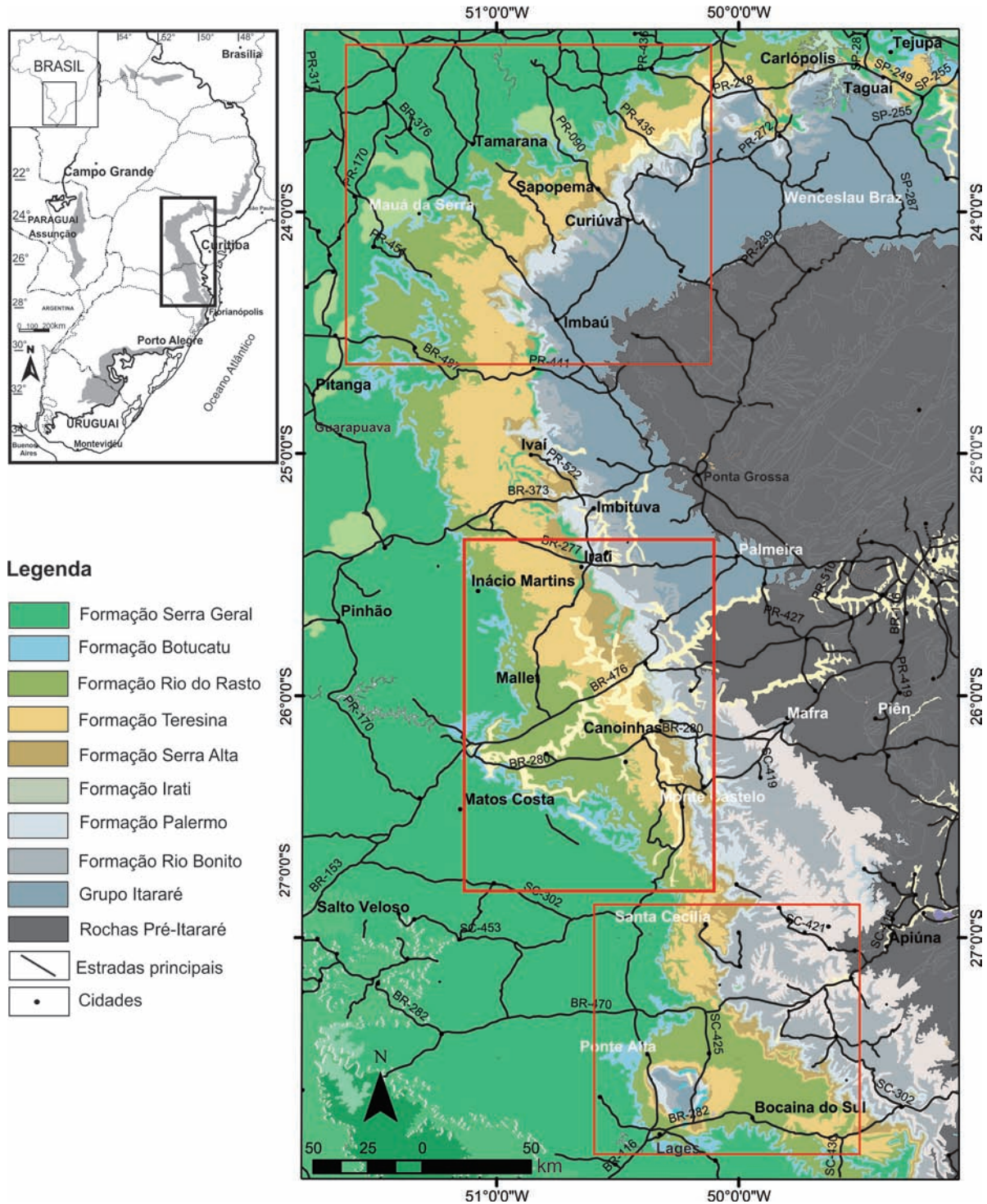
Segundo a carta estratigráfica da Bacia do Paraná (Milani et al., 2007; Holz et al., 2010), a Formação Rio do Rasto pertence ao Grupo Passa Dois e está incluída na sequência deposicional Meso/Neopermiana da Bacia do Paraná (Figura 2). A formação foi dividida por Gordon Jr. (1947) nos membros Serrinha (inferior) e Morro Pelado (superior). O primeiro apresenta 150 – 250 m de espessura, é composto por argilitos e siltitos acinzentados, secundariamente avermelhados, e arenitos muito finos a finos amarelados (Holz et al., 2010). O segundo possui espessura de 250 – 300 m (Rohn, 2007; Holz et al., 2010), constituiu-se por arenitos finos a médios, siltitos e, subordinadamente, argilitos avermelhados.

As primeiras interpretações paleoambientais para o Membro Morro Pelado foram de Rego (1930), ao afirmar que as litofácies do “Grupo Rio do Rasto” seriam de origem aquosa, com uma fase marinha (Membro Serrinha). Em seguida, Gordon Jr. (1947) notou elementos arquitetônicos característicos de ambiente de planície de inundações. Beurlen (1954), por sua vez, concluiu que na parte superior do “Grupo Rio do Rasto” haveria a formação de lagoas isoladas e temporárias. Mendes (1967) caracterizou o ambiente de sedimentação da unidade como predominantemente de planícies de inundações e sedimentação lacustre. Semelhantemente, Northfleet et al. (1969) postularam que a associação de litotipos que constitui o topo da Formação Rio do Rasto indicaria ambiente deposicional fluvial de planície de inundação. Na década de 1970, autores como Schneider et al. (1974) e Gama Jr. (1979) admitiram ambiente fluvial meandrante em planícies deltaicas e dunas eólicas. Gama Jr. (1979), ao considerar o Membro Morro Pelado como a sequência continental de um ambiente deltaico, classifica o sistema deltaico Serra do Espigão como “destrutivo dominado por marés”.

Estudos da década de 1990 preconizados por Lavina (1991) e Rohn (1994) aventaram que as estruturas sedimentares existentes principalmente no Membro Serrinha, tais como

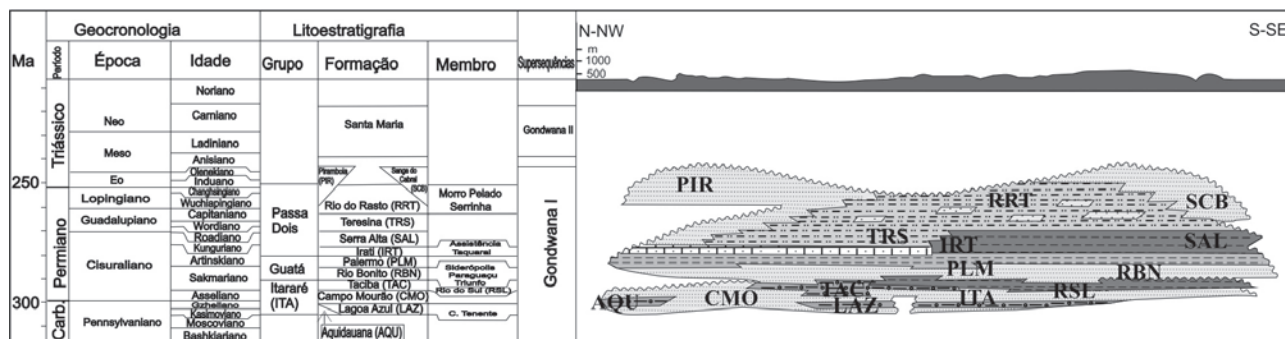
estratificações cruzadas *hummocky* e laminações heterolíticas, outrora atribuídas à ação de marés, na realidade seriam formadas em um sistema lacustre de grandes dimensões influenciado por ondas de tempestades. Segundo os mesmos autores,

o Membro Morro Pelado teria se depositado em ambiente seguramente continental, em que a bacia foi compartimentada em vários pequenos corpos d'água, contornados por áreas emersas com rios efêmeros e dunas eólicas.



Fonte: Schobbenhaus et al. (2004).

Figura 1. Mapa de localização e esboço geológico da área estudada, com destaque em vermelho para as regiões analisadas.



Fonte: adaptado de Milani et al. (2007).

Figura 2. Carta estratigráfica da Bacia do Paraná, com destaque para a Supersequência Permocarbonífera (Gondwana I).

Os estudos mais recentes são de Rohn e Rösler (2000) e Warren et al. (2008). Rohn e Rösler (2000) interpretam o Membro Morro Pelado como lago raso (preenchido por barras de desembocaduras) e, em menor proporção, um sistema eólico, com rios efêmeros e interdunas. Warren et al. (2008) consideraram que a unidade seria composta, sobretudo, por sedimentos de planície e frente deltaica, com instalação de um complexo padrão de canais distributários meandantes e, secundariamente, retilíneos sobre depósitos de desembocadura abandonados, com dunas eólicas no topo.

LITOFÁCIES SEDIMENTARES E ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS DO MEMBRO MORRO PELADO

A Tabela 1 apresenta a descrição das 21 litofácies sedimentares identificadas no Membro Morro Pelado, bem como a interpretação dos processos formativos. A partir do seu vínculo genético e arquitetura, essas litofácies puderam ser agrupadas em quatro associações de litofácies: A, B, C e D. Os contatos entre as associações são abruptos ou gradacionais, com frequente recorrência vertical de litofácies indicando interdigitação. Cada associação de litofácies é constituída por um ou mais elementos arquitetônicos, definidos de acordo com a geometria deposicional (Tabela 2).

Associação litofaciológica A

A associação de litofácies A é constituída pelos elementos arquitetônicos de origem fluvial LA (barras de acreção lateral), LV (dique marginal), FF (finos de planície de inundação) e CS (lobos de rompimento de diques marginais), conforme representado na Tabela 2.

O elemento arquitetônico LA é formado por litofácies arenosas dispostas em conjuntos de camadas lenticulares assentadas em contato erosivo sobre pelitos. A sucessão desses estratos possui espessura da ordem de 5 m. Na base predominam arenitos finos com estratificações cruzadas

acanaladas de pequeno e médio porte (litofácies St_1) e estratificações cruzadas de baixo ângulo de pequeno e médio porte (litofácies Sl_1). Estes gradacionam para o topo para arenitos finos com laminações onduladas assimétricas (litofácies Sr_1) ou plano-paralelas (litofácies Sh_1), que compõem a maior parte desses estratos, e passam para litofácies heterolíticas com ondulações de corrente ou *climbing ripples* (litofácies Fhr). Na base dessas sucessões são comuns conglomerados oligomíticos (litofácies Gh-i e Gt-i) constituídos por intraclastos argilosos em meio a uma matriz arenosa.

As paleocorrentes medidas a partir das estratificações cruzadas das litofácies St_1 e Sl_1 e ondulações das litofácies heterolíticas apontam fluxo médio para leste e nordeste, e subordinadamente sudeste. Foi possível constatar que o azimute médio das paleocorrentes é aproximadamente perpendicular ao azimute de caimento das superfícies de acreção, indicando formas de acreção lateral (Figura 3). As estruturas que indicam perda de energia de fluxo, como laminações onduladas e heterolíticas em contatos graduais para o topo a partir dos arenitos estratificados, corroboram tal hipótese (e.g. Miall, 2006).

Os conjuntos de camadas arenosas do elemento LA preenchem escavações (canais) esculpidas sobre litofácies pelíticas tabulares e de grande continuidade lateral. A presença de intraclastos argilosos (litofácies Gh-i e Gt-i) na base indica erosão de substrato lamoso e posterior redeposição na forma de preenchimento de canais (e.g. Miall, 1978). Dessa maneira, o limite basal dos canais que contêm as LA corresponde às superfícies erosivas de 5ª ordem (no sentido de Miall, 1985). Os limites de camadas e conjuntos de camadas são superfícies de 3ª e 4ª ordens.

O elemento arquitetônico LV apresenta contatos erosivos laterais e de topo com litossoma que forma canal (Figura 4); constitui-se por siltitos laminados intercalados aos arenitos muito finos e siltitos arenosos com laminações onduladas incipientes. As camadas arenosas se adelgaçam a partir do contato lateral com depósitos de preenchimento de canal (Figura 4B). Por vezes, as unidades pelíticas exibem gretas de ressecamento com preenchimento arenoso.

Tabela 1. Litofácies sedimentares identificadas no Membro Morro Pelado.

Código	Denominação	Descrição	Interpretação
Gh-i	Conglomerado intraclástico com estratificação plano-paralela	Conglomerado oligomítico sustentado por matriz, amarelo-claro, com estratificação plano-paralela e intraclastos pelíticos esverdeados na granulação seixo, calhaus e, subordinadamente, grânulo	Fluxo turbulento sobre leitos pelíticos pouco consolidados
Gt-i	Conglomerado intraclástico com estratificação cruzada	Conglomerado oligomítico sustentado pelo arcabouço, avermelhado, com estratificação cruzada de pequeno a médio porte e intraclastos pelíticos avermelhados nas frações grânulo, seixo e calhaus	Fluxo turbulento sobre leitos pelíticos pouco consolidados
St ₁	Arenito com estratificação cruzada acanalada de pequeno e médio porte	Arenito fino amarelado ou avermelhado, moderadamente bem selecionado, com estratificação cruzada acanalada de pequeno a médio porte	Migração de dunas subaquosas de crista sinuosa, em regime de fluxo inferior
St ₂	Arenito com estratificação cruzada tangencial ou acanalada de grande e médio porte	Arenito fino a médio, avermelhado, bem e moderadamente bem selecionado, com grãos foscas, arredondados e de esfericidade alta; apresenta estratificação cruzada tangencial ou acanalada de ângulo médio e grande a médio porte	Migração de dunas de crista sinuosa de grande e médio porte sob a ação do vento
Sp	Arenito com estratificação cruzada tabular	Arenito médio a fino, amarelo-claro ou avermelhado, bem selecionado, que contém grãos de esfericidade alta, subarredondados e foscas; possui estratificação cruzada tabular de grande a médio porte	Migração de dunas de crista reta e grande porte sob a ação do vento
Sh ₁	Arenito com estratificação plano-paralela tipo 1	Arenito fino a médio, com areia muito fina e silte na matriz; avermelhado ou amarelo-claro, pobremente a muito pobremente selecionado, com estratificação plano-paralela	Correntes tracionais em regime de fluxo superior
Sh ₂	Arenito com estratificação plano-paralela tipo 2	Arenito finos a médio, avermelhado, moderadamente a bem selecionado, com estratificação plano-paralela	Rolamento da fração mais grossa (areia média) em protodunas dômicas ou na forma de cordões lineares, sob a ação do vento
Sl ₁	Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo tipo 1	Arenito fino, arroxeadado ou avermelhado, pobremente a muito pobremente selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo (< 15°) e médio porte	Correntes tracionais na transição entre fluxo subcrítico e supercrítico
Sl ₂	Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo tipo 2	Arenito fino avermelhado, moderadamente a bem selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo e médio a grande porte, nos quais os grãos são foscas, arredondados a subarredondados, e de esfericidade alta	Migração de dunas de médio a grande porte sob a ação do vento
Sr ₁	Arenito com laminações onduladas tipo 1	Arenito muito fino, siltoso, avermelhado, arroxeadado ou amarelo-claro, pobremente a muito pobremente selecionado, com laminações onduladas assimétricas e comprimento de onda entre 2 e 8 cm (Tipo – B)	Migração de ondulações sob corrente trativa em regime de fluxo inferior
Sr ₂	Arenito com laminações onduladas tipo 2	Arenito muito fino, siltoso, avermelhado, arroxeadado ou amarelo-claro, pobremente a muito pobremente selecionado, com laminações onduladas pouco assimétricas e comprimento de onda entre 4 e 20 cm (sinusoidais)	Migração de ondulações sob corrente com muita carga detrítica em suspensão
Sr ₃	Arenito com laminações onduladas tipo 3	Arenito fino a muito fino, siltoso, avermelhado, arroxeadado ou amarelo-claro, pobremente a muito pobremente selecionado, com ondulações assimétricas de comprimento de onda métrico e amplitude decimétrica – <i>megaripples</i>	Migração de ondulações sob corrente com volume moderado de carga detrítica em suspensão

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Código	Denominação	Descrição	Interpretação
Shl	Arenito com laminação plano-paralela	Arenito amarelo-claro, pobremente selecionados, com laminação plano-paralela	Litofácie formada por processos de tração por correntes de fundo em leito plano sob condições de regime inferior
Sm	Arenito maciço	Arenito fino a muito fino avermelhado ou amarelo-claro, muito pobremente selecionado, maciço	Fluxo denso episódico
Si	Arenito com gradação inversa	Arenito fino a médio, avermelhado, pobremente selecionado, com gradação inversa.	Fluxo concentrado sustentado por choque de grãos
Fhr	Litofácie heterolítica	Siltito/argilito alternado com arenito muito fino, ora com laminações cruzadas, formando estruturas onduladas <i>flaser</i> , <i>wavy</i> e <i>linsen</i>	Depósitos oriundos da alternância de deposição subaquosa de areias em condições de maior energia e decantação de finos (pelitos) nos estágio de águas calmas
Fb	Lamitoossilífero com restos de peixes, tetrápodes e bivalves	Escamas de peixe (“farinha de peixe”) e fragmentos de tetrápodes e/ou bivalves em siltito com laminação plano-paralela e argilito maciço, avermelhado	Depósito residual de restos de organismos
P	Manchas, horizontes e nódulos carbonáticos	Manchas, nódulos e horizontes carbonáticos esbranquiçados em camadas areníticas ou lamíticas	Precipitação eodiagenética de carbonato de cálcio
Fm	Lamito maciço	Lamito avermelhado ou arroxeadado, secundariamente esverdeado, maciço	Decantação lenta de lama em suspensão
Fl	Lamito com laminação plano-paralela	Lamito avermelhado ou arroxeadado com laminação plano-paralela	Depósitos gerados por decantação de lama a partir de fluxo turbulento de baixíssima densidade

Tabela 2. Associação litofácies sedimentares identificadas no Membro Morro Pelado.

Associação litofaciológica	Litofácies	Elemento arquitetônico	Contexto no ambiente
A	Gt-i, Gh-i, St ₁ , Sl ₁ , Shl, Sr ₁ e Fhr	Barras de acreção lateral (LA – <i>lateral accretion</i>)	Canais fluviais de alta sinuosidade
	Fl e Sr ₂	Dique marginal (LV – <i>levee</i>)	
	Fhr, St ₁ e Bb	Lobos de rompimento de dique marginal (CS – <i>crevasse splays</i>)	Planície de inundação fluvial
Fl, Fm, Fhr, Sr ₁ , Sr ₂ , Ff e P	Finos de planície de inundação (FF – <i>floodplain fines</i>)		
B	Gt-i, St ₁ , Sr ₁ , Sr ₂ e Shl, Sm, Fhr, Shl, Sr ₁ , Sr ₂ e P	Depósitos de fluxos em lençol (SF – <i>sheet flood deposits</i>)	Espriamentos terminais fluviais
	Gt-i, Sh ₁ e Sl ₁	Canais rasos (SC – <i>shallow channels deposits</i>)	
C	Sh ₁ , Sl ₁ , Fhr e Sr ₃	Canais rasos (SC – <i>shallow channels deposits</i>)	Delta lacustre
	St ₁ , Sr ₁ , Fhr e Fl	Barras de desembocadura (MB – <i>mouth bars</i>)	
D	St ₂ , Sl ₂ e Sp	Dunas (DU – <i>dunes</i>)	Campo de dunas eólicas
	Sl ₂	<i>Draa</i> (DR)	
	Fl, Fm, Fhr, Sm, Si e P	Interdunas (IDU – <i>interdunes</i>)	Lençóis de areia eólicos
	Sh ₂	Lençóis de areia (SS – <i>sand sheet</i>)	

Camadas de espessura centimétrica a decimétrica compostas, sobretudo, por rochas com laminações heterolíticas (litofácies Fhr), que em geral se adelgaçam lateralmente, podem ser atribuídas aos CS. Camadas com fragmentos fósseis (litofácies Fb) podem ocorrer na base ou no topo

desses estratos. Em alguns casos, essas camadas são formadas por arenitos muito finos com estratificações cruzadas de pequeno porte que gradam para laminações tipo *wavy* e *linsen*. Esses estratos encontram-se intercalados aos depósitos de FF.

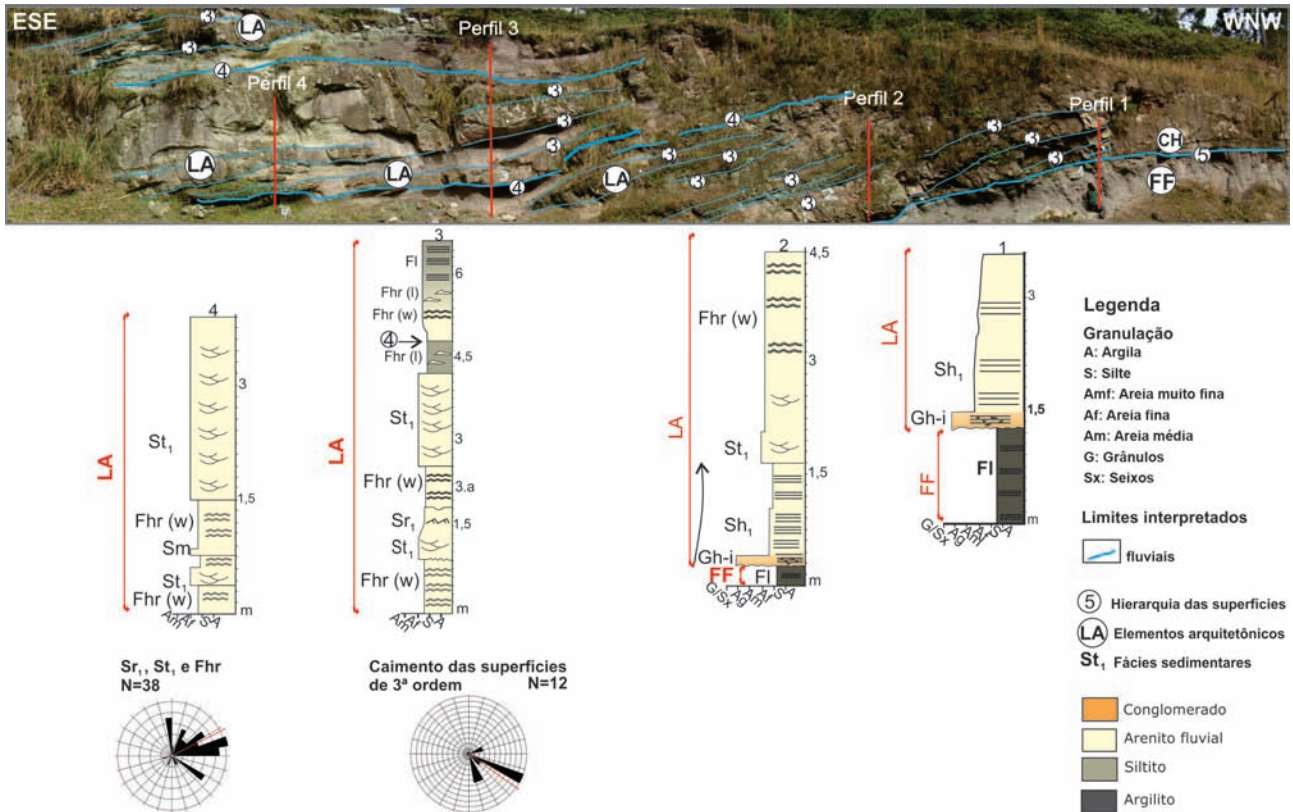


Figura 3. Barras de acreção lateral que preenchem canais escavados em planícies de inundação (finos de planície de inundação). Santa Catarina (27°44'S/49°55'W).

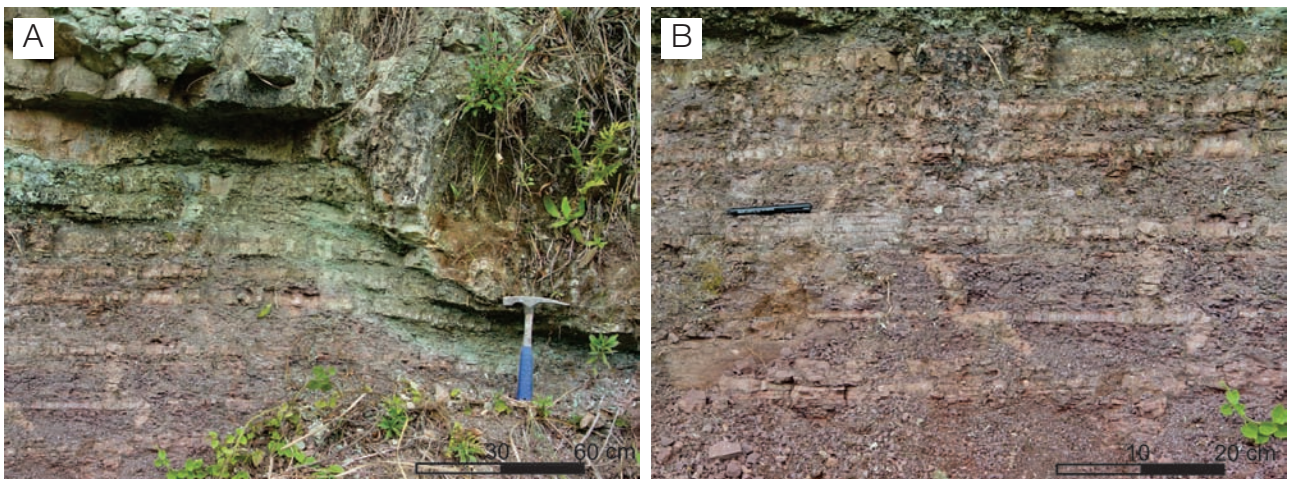


Figura 4. Elemento arquitetônico dique marginal: (A) contato entre o canal e o dique marginal; (B) detalhe do depósito de dique marginal: intercalação de camadas de areia intercaladas aos estratos com siltitos e argilitos com gretas de contração. Santa Catarina (27°17'S/50°00'W).

As litofácies pelíticas referenciadas acima compõem o elemento arquitetônico FF, encerrado em camadas tabulares de espessura centimétrica a decamétrica e grande extensão lateral. Inclui as litofácies siltitos/siltitos arenosos com laminação plano-paralela (litofácies FI), acamamento heterolítico incipiente do tipo *linsen* (litofácies Fhr), argilitos maciços (litofácies Fm) e siltitos e argilitos fossilíferos com megafitosósseis (litofácies Ff). Nódulos carbonáticos e possíveis rizocrecções (litofácies P), assim como gretas de ressecamento, podem ocorrer nas sucessões de camadas pelíticas. Entre os pelitos são comuns intercalações com arenitos muito finos com laminações onduladas (litofácies Sr_1 e Sr_2 — Figuras 5A e 5B), com espessuras centimétricas. Nos contatos entre algumas camadas pelíticas e arenosas ocorrem gretas de ressecamento preenchidas pelo material arenoso sobreposto (Figura 5C).

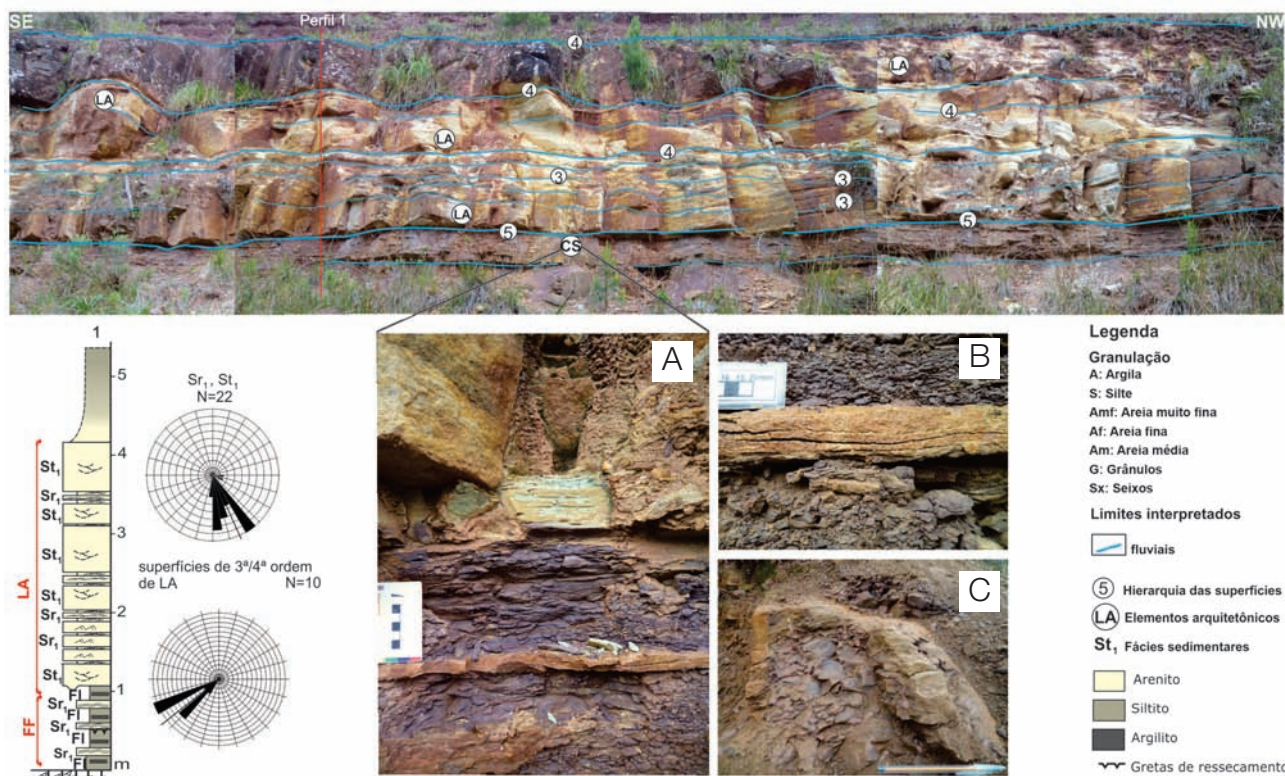
O conjunto de litofácies que forma as LA aponta um estilo de sedimentação de carga mista ou suspensiva, típico de sistemas fluviais meandrantes. A predominância de litofácies com granulação fina permite enquadrar esses depósitos como *Fine-Grained Meandering River*, um dos estilos fluviais propostos por Miall (2006). Os rios desse tipo

são caracterizados pela alta sinuosidade e grande parcela de transporte em suspensão. Semelhantemente ao que foi observado em campo, nesse estilo fluvial as laminações onduladas são estruturas dominantes. Conglomerados e estratificações cruzadas em arenitos médios a finos podem ocorrer na base dessas barras. Admite-se também o desenvolvimento de laminações heterolíticas no topo das barras (e.g. Miall, 2006).

Associação litofaciológica B

A associação de litofácies B é formada por estratos areníticos fluviais tabulares e, secundariamente, com forma acanalada. Os primeiros correspondem ao elemento arquitetônico *sheet flood deposits* (SF), enquanto o segundo equivale ao elemento *shallow channels deposits* (SC). Esses elementos deposicionais foram observados tanto no estado de Santa Catarina quanto no estado do Paraná, nas porções inferior, intermediária e superior do Membro Morro Pelado, constituindo depósitos volumetricamente significativos na unidade.

Os arenitos tabulares do elemento SF possuem espessura métrica (até 3 m), subordinadamente centimétrica



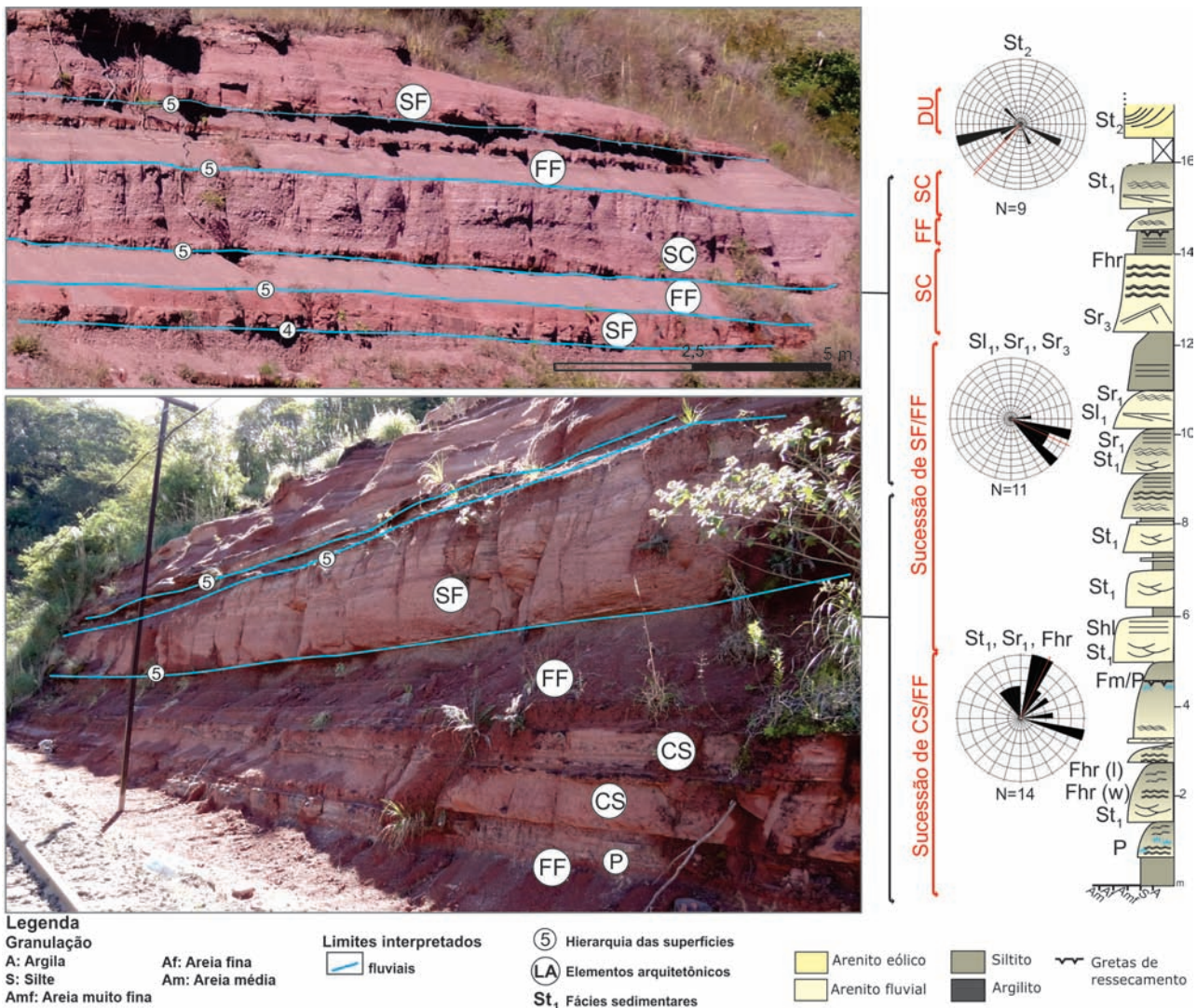
FF: finos de planície de inundação.

Figura 5. Barras de acreção lateral em contato erosivo sobre depósitos de planície de inundação. Em (A) observa-se a intercalação de siltitos/argilitos com arenitos com ondulação de corrente (B). A foto (C) mostra em detalhe a greta de contração. Santa Catarina (27°47'S/50°14'W).

(20 – 80 cm), grande extensão que varia entre 10 e 50 m, e com contatos basais abruptos. Nestes, foram verificadas três principais sucessões verticais de litofácies. A primeira possui base composta predominantemente por arenitos com estratificação cruzada acanalada (litofácies St_1) que grada para laminações onduladas sinusoidais (litofácies Sr_2), assimétricas (litofácies Sr_1) ou plano-paralelas (litofácies Shl) (Figura 6). A segunda é constituída por arenitos com estratificações plano-paralelas (litofácies Sh_1) ou estratificações cruzadas de baixo ângulo (litofácies Sl_1). Por fim, a terceira (Figuras 7 e 8) é composta por litofácies heterolíticas (litofácies Fhr), arenitos maciços (litofácies Sm) e arenitos com

laminações onduladas de corrente (litofácies Sr_1 e Sr_2) e plano-paralelas (litofácies Shl). Nestes, também são comuns as gradações, por exemplo, arenitos maciços que transicionam para arenitos com laminações onduladas. Na base das camadas desses três conjuntos de litofácies é comum a presença de horizontes com intraclastos (litofácies $Gt-i$ ou $Gh-i$).

Os diferentes conjuntos de litofácies que formam o elemento SF são caracterizados por gradações normais, o que indica perda da energia de fluxo com o tempo. Em algumas situações, há preservação da fase acelerante do fluxo, demonstrada por gradações inversas (Figura 7). As variações de litofácies descritas dentro desses corpos tabulares



CS: lobos de rompimento de diques marginais; SF: depósitos de fluxos em lençol; FF: finos de planície de inundação; SC: canais rasos; DU: dunas.

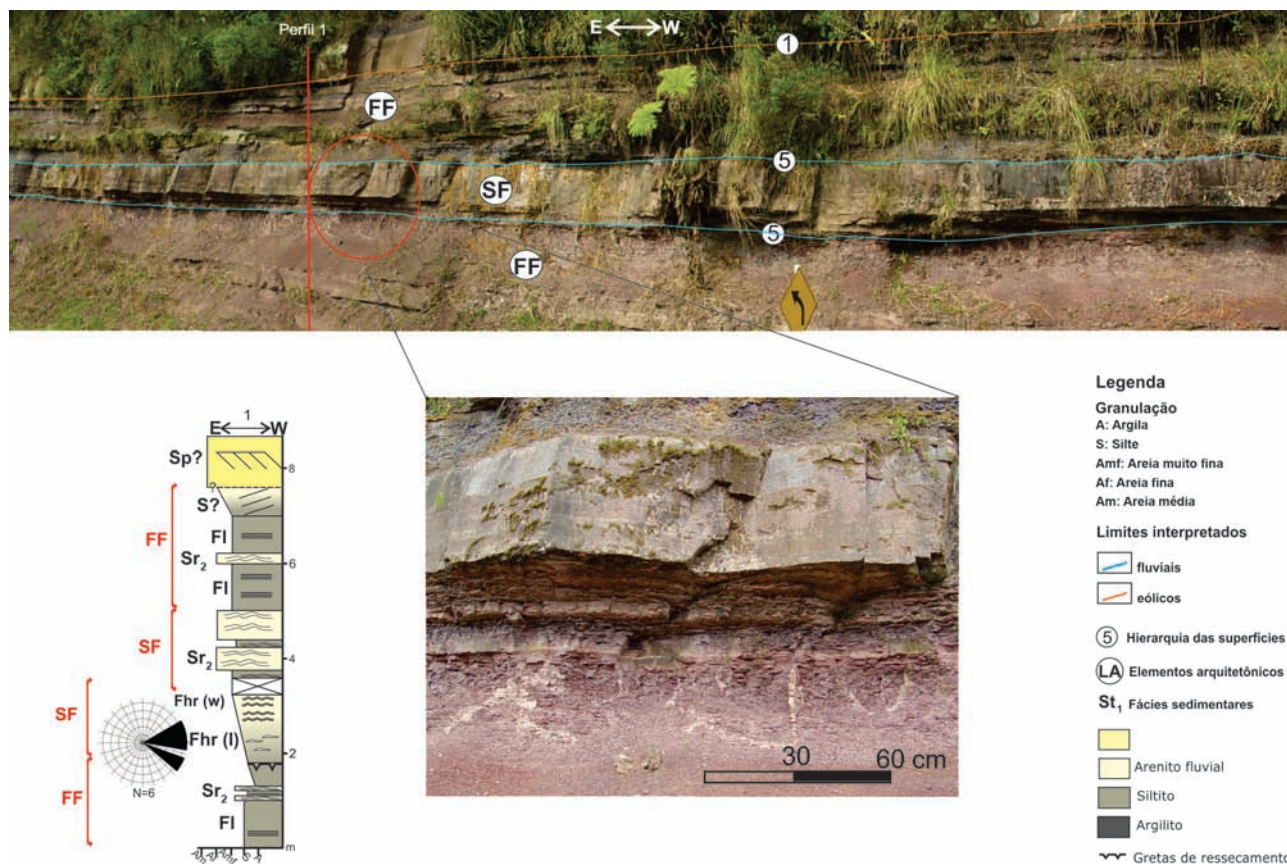
Figura 6. Empilhamento composto da associação litofaciológica B: intercalação dos elementos arquitetônicos “depósitos de fluxos em lençol”, finos de planície de inundação/lobos de rompimento de diques marginais e canais rasos. Sendo o elemento “depósitos de fluxos em lençol” configurado pela gradação de arenitos estratificados para laminados. No topo ocorrem estratos eólicos. Paraná (24°00’S/51°06’W).

seriam resultado das características hidrodinâmicas — ora mais tração ora mais suspensão — e da densidade e da concentração do fluxo. Analisados em conjunto, os três arranjos de litofácies poderiam compor um trato longitudinal contínuo, representando modificações do fluxo dentro do mesmo evento deposicional, ou seja, fariam parte do mesmo elemento arquitetônico. A geometria tabular indica que são fluxos em lençol cuja sedimentação se processa em ambiente desconfinado.

Os arenitos finos a médios com estratificações plano-paralelas que compõem depósitos de fluxos em lençol são diagnósticos de transporte de areia por fluxos subaquosos em regime de fluxo superior. As estratificações cruzadas de baixo ângulo representam a transição do regime de fluxo superior para o inferior. Os intraclastos encontrados na base de algumas camadas têm sua origem a partir do retrabalhamento de depósitos finos, incorporados ao fluxo trativo (e.g. Miall, 1996). Tanto a granulometria quanto as estruturas verificadas são estáveis em fluxo de pequenas profundidades (centimétricas), com velocidade em torno de

1 m/s (e.g. Miall, 1996). As cumulações superiores a 1 m correspondem à persistência do processo por muitas horas ou dias (e.g. Miall, 1996), caracterizando fluxos efêmeros de alta energia (*flash floods*). As gradações presentes nesses estratos são explicadas pela desaceleração do fluxo. Por outro lado, as camadas tabulares de arenitos com acamamento heterolítico e/ou com laminações onduladas têm sua origem associada à rápida desaceleração de fluxos com alta carga de suspensão, correspondendo às fases finais de inundação numa planície aluvial. O segundo arranjo de litofácies descrito no elemento SF representa condições intermediárias entre os fluxos predominantemente trativos e aqueles caracterizados por muita carga de suspensão.

O elemento arquitetônico SC, o qual é relativamente raro na associação B, equivale aos corpos com base côncava e topo plano. Estratos delimitados por margens com inclinações suaves com espessura inferior a 2 m e com extensão lateral em torno de 25 m são compostos pelas litofácies Sh_1 e Sl_1 , ou Sr_3 . Estes estão dispostos erosivamente, mediante superfícies de 5ª ordem, sobre os elementos SF e FF, configurando canais rasos. A



SF: depósitos de fluxos em lençol; FF: finos de planície de inundação.

Figura 7. Elemento arquitetônico “depósitos de fluxos em lençol”, compostos por litofácies heterolíticas e laminadas, intercalado aos finos de planície de inundação da associação litofaciológica B. Na foto em detalhe há o contato de finos de planície de inundação (com gretas de contração) com “depósitos de fluxos em lençol”. Santa Catarina (27°17’S/50°09’W).

espessura métrica e a extensão decamétrica desse canal apontam para a razão largura/profundidade que permite defini-lo como canal com forma de “*sheets*”, conforme a classificação de Hirst (1991). Por outro lado, os corpos com espessura e extensão de até 2 m, compostos essencialmente por litofácies heterolíticas que mostram margens relativamente íngremes, correspondem aos canais do tipo “*ribbon*”, segundo a mesma classificação.

As estratificações que indicam fluxo em regime superior (litofácies Sh_1 e Sl_1) contidas nos canais rasos podem representar períodos de maior intensidade de descarga e suprimento, associados às oscilações locais do nível de base. A geometria aproximada à forma de lençol (“*sheets*”) é explicada pela instabilidade do substrato arenoso, o que inibe o entalhamento de canais mais profundos.

Tanto os canais rasos quanto os depósitos de fluxo em lençol ocorrem intercalados aos depósitos de planície de inundação, por meio de superfícies de 5ª ordem. Nestes contatos é comum a presença de gretas de ressecamento nos pelitos do elemento FF (Figura 7). Semelhantemente, calcreses crosta dura, nodulares e mosqueados foram encontrados nas camadas tabulares de SF (Figura 8). Esses intervalos ou níveis figuram superfícies de 5ª ordem, quando em contato com o elemento arquitetônico SC ou mesmo SF. Além das superfícies limitantes de 5ª ordem, há superfícies de 4ª ordem que encerram sucessões dos elementos arquitetônicos SF, as quais devem representar ciclos de novas inundações laminares, formando um conjunto agradacional.

As paleocorrentes dos depósitos de canais fluviais da associação litofaciológica A apontam para E, SE e NE, o mesmo sendo verificado nos elementos SF e SC. Esse

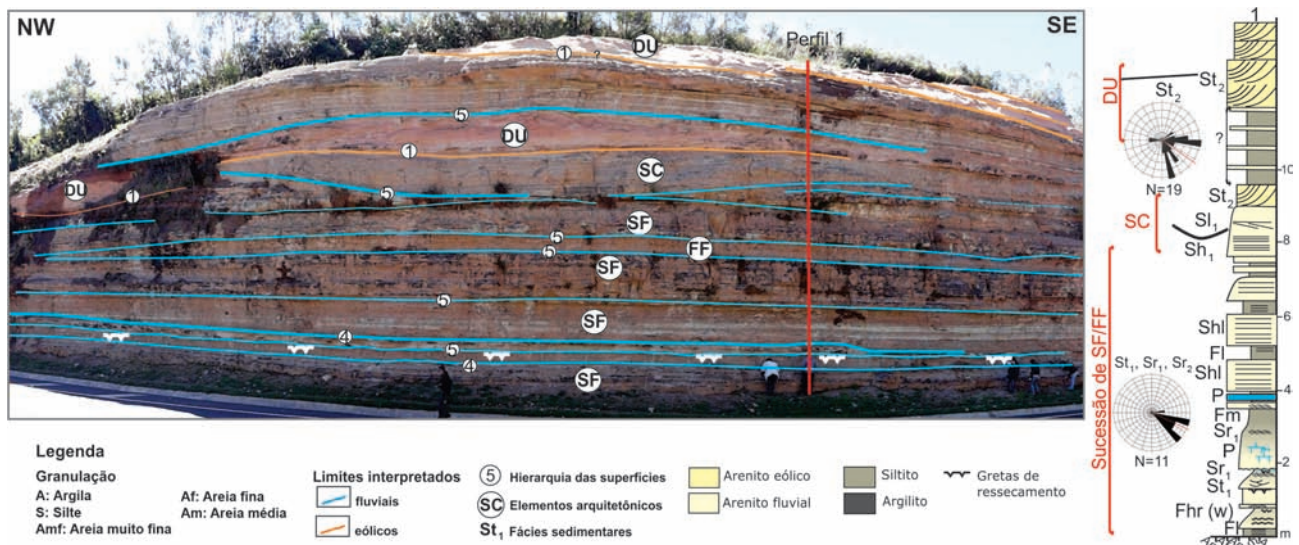
paralelismo sugere que os arenitos tabulares e canais rasos associados resultam de fluxos em lençol na porção terminal do sistema fluvial. Nesse contexto, o elemento deposicional SC deve corresponder aos canais retilíneos, típicos alimentadores dos depósitos de fluxo em lençol em sistemas fluviais distributários (e.g. Nichols e Fisher, 2007). Desse modo, em conjunto, os elementos arquitetônicos SF e SC equivalem aos espraiaamentos terminais desse sistema fluvial.

A hipótese acima é corroborada pela intercalação com depósitos métricos de planície de inundação e a pequena espessura e grande extensão dos canais rasos, uma vez que essas são características esperadas na porção distal do sistema fluvial distributário (e.g. Nichols e Fisher, 2007). Adicionalmente, as litofácies predominantes na associação B são aquelas que apresentam menor granulação, ou seja, são comuns, por exemplo, as litofácies Fhr, Sr_2 e Sr_1 inseridas em corpos tabulares.

O conjunto de elementos arquitetônicos da associação B demonstra a ação de processos de inundações intercalados aos períodos de evaporação e não deposição. O primeiro caso relaciona-se aos depósitos de espraiaamentos terminais fluviais intercalados aos estratos da planície de inundação. O segundo processo figura-se por meio dos diferentes tipos de calcreses (P) (conforme conceitos de Alonso-Zarza, 2003) e níveis de gretas de ressecamento, presentes em camadas da planície de inundação.

Associação litofaciológica C

A associação litofaciológica C, verificada apenas no estado de Santa Catarina, na porção superior do membro Morro



SF: depósitos de fluxos em lençol; FF: finos de planície de inundação; DU: dunas.

Figura 8. Intercalações entre os elementos arquitetônicos “depósitos de fluxos em lençol”, compostos por litofácies laminadas, e finos de planície de inundação, assim como “depósitos de fluxos em lençol” e dunas. Santa Catarina (27°17’S/50°00’W).

Pelado, é representada pelo elemento arquitetônico MB, o qual inclui arenitos sílticos e siltitos laminados (litofácies Fhr e FI) e arenitos com ondulações de corrente (litofácies Sr_1) em corpos lenticulares, sigmoides e tabulares.

O elemento MB caracteriza-se por sucessões de granocrescência e espessamento ascendente que iniciam com ritmitos compostos por alternância centimétrica entre as litofácies Sr_1 , Fhr e FI. Acima dos ritmitos ocorrem corpos areníticos lenticulares/sigmoides (litofácies Sr_1) dispostos em ciclos de compensação que sugerem migração lateral de lobos durante a deposição (Figura 9). Esses arenitos se adelgaçam e passam lateralmente para ritmitos semelhantes aos que ocorrem sotopostos.

A geometria sigmoide, o padrão de compensação lateral e a presença de *climbing ripples* sugerem que os arenitos foram depositados a partir de fluxos homopícnais num corpo aquoso. Desse modo, devem corresponder à porção proximal de MB. Os ritmitos adjacentes ou sotopostos corresponderiam à deposição por desaceleração desses fluxos

nas porções mais distais barras. Assim como ocorre nos espriamentos terminais fluviais e nos depósitos de barras em pontal, os rumos de paleocorrentes obtidos em ondulações assimétricas presentes nas MB apontam para o quadrante ESE, com variação para NE. Assim, pode-se interpretar que as MB correspondem aos depósitos terminais de canais fluviais formados durante os momentos de subida do nível de base, formando deltas de inundação (e.g. Blair e McPherson, 1994), que configuram, portanto, um sistema de deltas lacustres dominados por rios.

Associação litofaciológica D

A associação litofaciológica D é formada por arenitos e siltitos avermelhados e ocorre nos estados de Santa Catarina e do Paraná; foi observada principalmente na porção superior do Membro Morro Pelado, por vezes intercalada aos depósitos da associação litofaciológica A (Figura 10). Entretanto, pode aparecer intercalada aos depósitos da

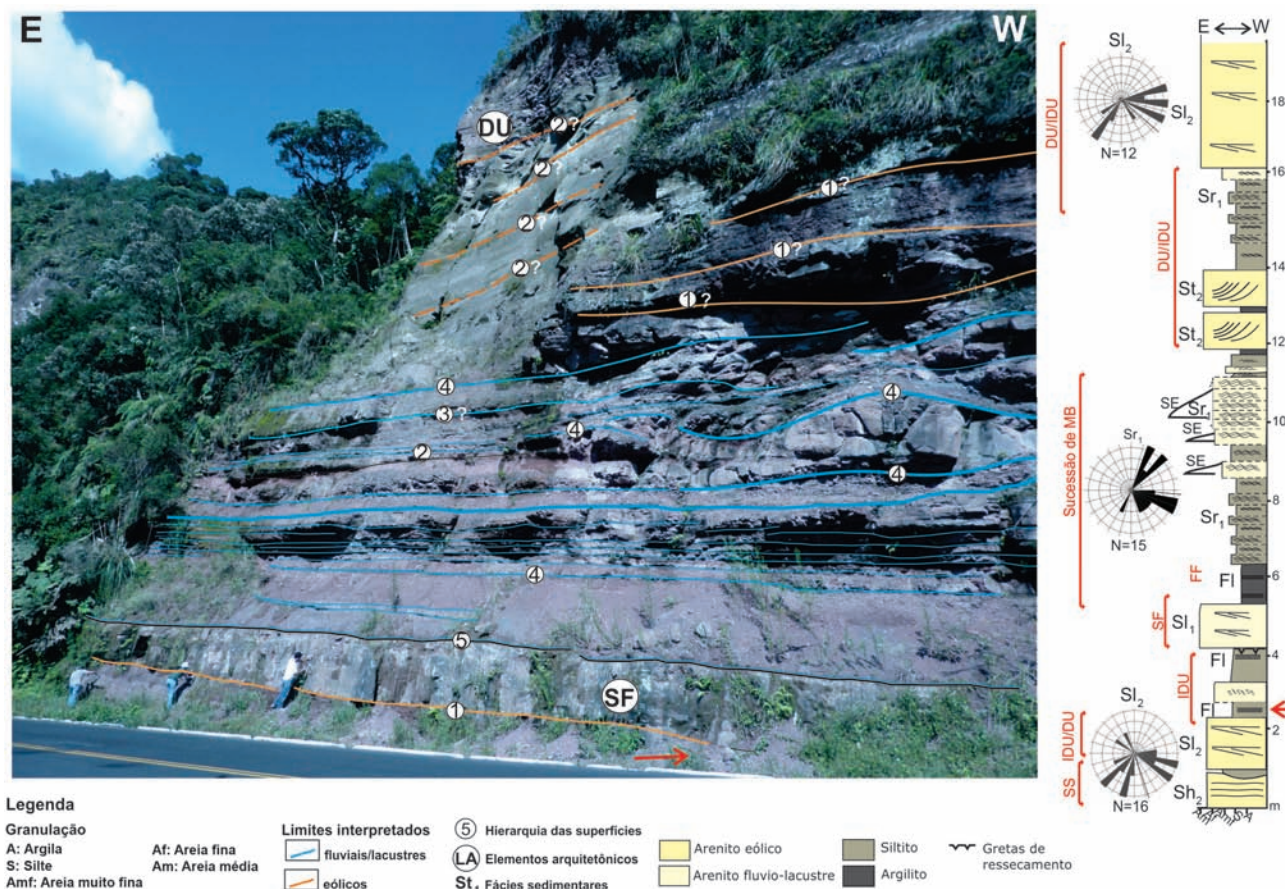


Figura 9. Associação litofaciológica C: litossomas lenticulares e acunhados denominados barras de desembocaduras. Santa Catarina (27°17'S/50°00'W).

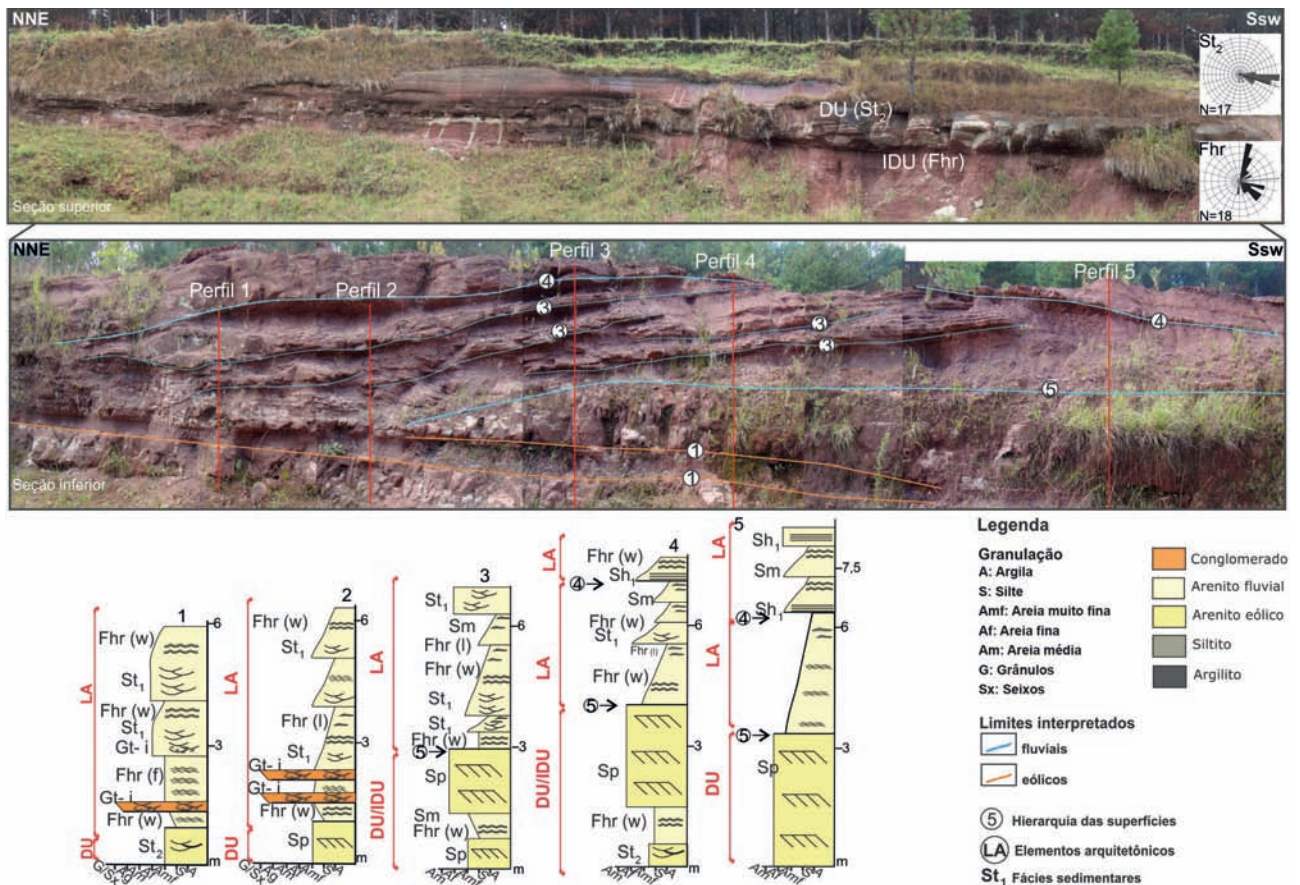
associação litofaciológica B na porção inferior da unidade. Essa associação constitui-se pelos elementos arquitetônicos de origem eólica, incluindo DU, IDU, dunas eólicas (*draas* — DR) e lençóis de areia (SS).

O elemento deposicional DU é formado por arenitos com estratificações cruzadas (litofácies St_2 , Sp e Sl_2), com grãos foscos inseridos em camadas tabulares e acunhadas de espessura e extensão métricas. As estratificações das litofácies St_2 e Sp são marcadas por gradações granulométricas inversas milimétricas a centimétricas.

Corpos lenticulares ou acunhados de siltitos, argilitos e arenitos muito finos (litofácies Fl, Fm e Fhr) que se encontram intercalados aos depósitos de DU podem ser definidos como depósito de IDU (Figuras 10 e 11). Esses estratos possuem espessura de até 8 m e extensão entre 5 e 30 m. Alguns afloramentos exibem intercalação das camadas pelíticas com estratos milimétricos a centimétricos de arenitos maciço (litofácies Sm), camadas milimétricas de carbonatos (litofácies P), e pelitos com gretas de contração preenchidas por carbonato e possíveis rizocrecções. Por vezes, os corpos com arenito maciço

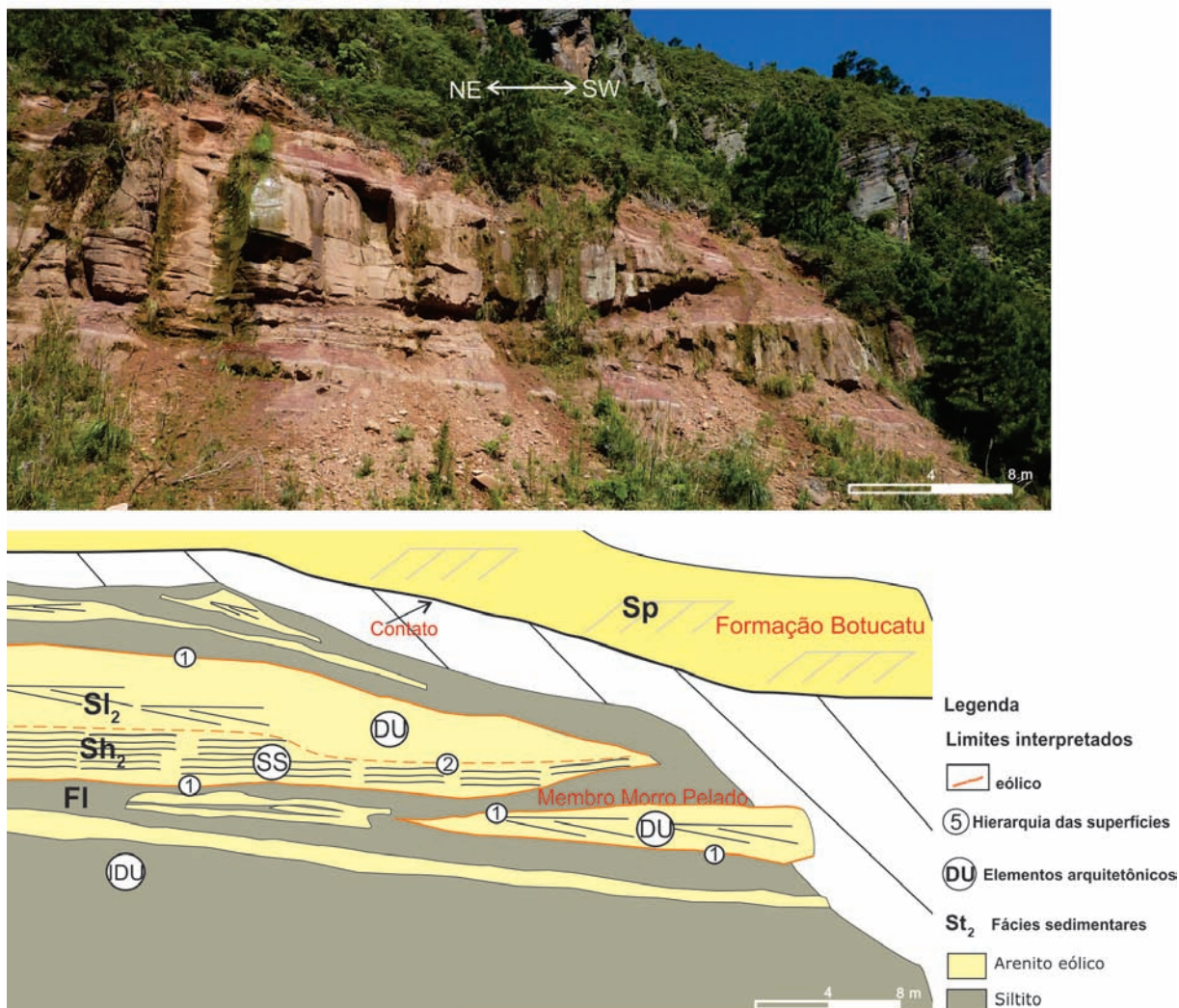
podem ser mais espessos, atingindo 1 m em sucessões que contêm arenitos com gradação inversa (litofácies Si). Raramente ocorrem feições de fluidificação e liquefação em camadas de arenito muito fino de até 20 cm. Arenitos em estratos centimétricos com migração de ondulações translantes supercríticas ocorrem localmente (Figura 12).

As litofácies pelíticas dos depósitos interdunares apontam para deposição subaquosa por decantação. Os arenitos maciços, inversamente gradados ou com ondulações translantes supercríticas podem ser interpretados como produto de adesão de areias secas transportadas pelo vento sobre superfícies úmidas ou alagadas (e.g. Hunter, 1977; Kocurek e Fielder, 1980). Desse modo, conforme conceitos de Kocurek e Havholm (1993) e Kocurek (1981), esses depósitos podem ser definidos como IDU alagadas. Essa associação de litofácies indica episódios de inundação ou subidas do nível freático em áreas interdunares, formando pequenos lagos temporários (Pye e Tsoar, 1990). Períodos relativamente secos são sugeridos pelas camadas arenosas e pela associação com gretas de contração preenchidas por



DU: dunas; IDU: interdunas.

Figura 10. Associação litofaciológica D no topo (seção superior) e base (seção inferior) de um conjunto de barras de acreção lateral da associação litofaciológica A. Santa Catarina (27°51'S/50°19'W).



IDU: interdunas; SS: lençóis de areia.

Figura 11. Elementos deposicionais dunas e lençóis de areia intercamadados com depósitos interdunas. Santa Catarina (26°45'S/50°20'W).



Figura 12. Ondulações translantes supercríticas em estratos eólicos do Membro Morro Pelado. Santa Catarina (26°45'S/50°19'W).

carbonato nos estratos pelíticos subjacentes. Neste caso, existiram momentos em que as áreas IDU seriam caracterizadas como úmidas.

Os contatos entre DU e IDU correspondem às superfícies de 1ª ordem, no sentido de Kocurek (1981, 1988). Superposições do elemento arquitetônico DU são marcadas por superfícies de 2ª ordem, ou seja, são agradações de DR observadas somente no topo do Membro Morro Pelado. Foram verificadas em menor frequência superfícies de 3ª ordem, que equivalem às superfícies de reativação. Além dessas relações de contato, são frequentes as recorrências dessa associação no topo e/ou na base dos elementos arquitetônicos LA, SF e SC, e MB.

Arenitos com estratificações plano-paralelas (litofácies Sh_2) compõem estratos areníticos tabulares e acunhados de grande extensão (> 10 m), que são intercalados aos depósitos pelíticos de IDU. A litofície Sh_2 grada para o topo para

litofácies Sl_2 , que recorre nos estratos superiores seguintes, com pequenas intercalações com pelitos e arenitos maciços centimétricos de interdunas.

Os corpos compostos pela litofácia Sh_2 provavelmente correspondem a SS (Figura 11), segundo conceitos de Kocurek e Nielson (1986) e Chrintz e Clemmensen (1993). O contato entre SS (litofácies Sh_2) e IDU é caracterizado como de superfície de 1ª ordem, conforme conceitos de Kocurek (1981, 1988), enquanto o contato entre SS e DU pode ser considerado como superfície de 2ª ordem, uma vez que os dois litossomas são compostos por arenitos estratificados. Esses depósitos de SS poderiam, adicionalmente, equivaler às planícies de interdunas (e.g. Clemmensen, 1991; Chrintz e Clemmensen, 1993; Kocurek, 1996).

A partir das informações obtidas e das considerações para a associação litofaciológica D, o sistema eólico do Membro Morro Pelado é definido como sistema eólico úmido, composto por campo de dunas em frequente relação com depressões e planícies interdunares. Outro fator que corrobora o sistema eólico como úmido corresponde à presença das gretas de ressecamento preenchidas por carbonato e de cimentos carbonáticos nos arenitos.

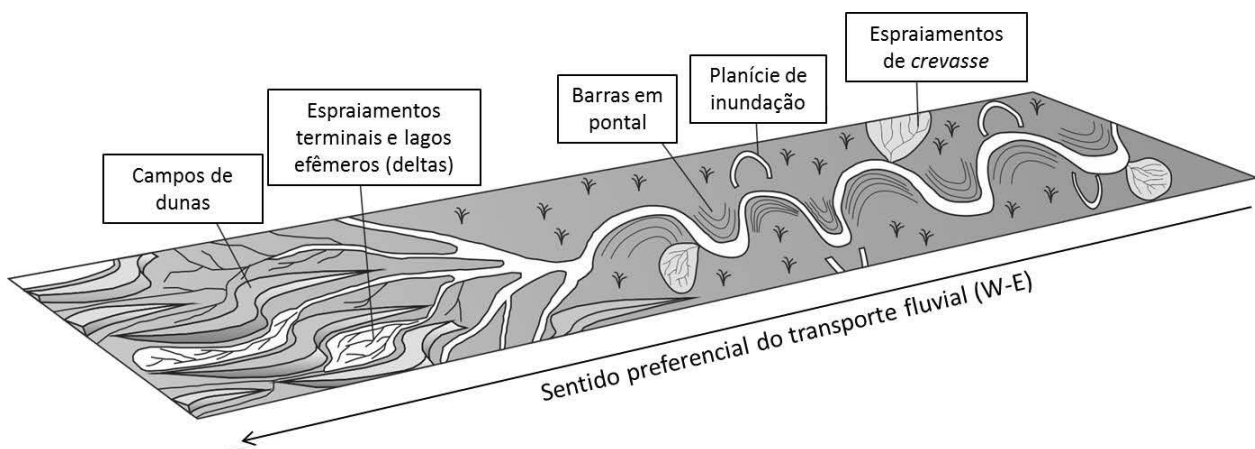
CONTEXTO DEPOSICIONAL DO MEMBRO MORRO PELADO

A abundância de estratos tabulares caracterizados por intercalação de arenitos e lamitos, de grande continuidade lateral, é uma característica marcante do Membro Morro Pelado, motivo pelo qual muitos autores têm interpretado a unidade como essencialmente lacustre. Conforme ilustrado

na Figura 13, os resultados do presente trabalho sugerem cenário alternativo, em que a sedimentação teria sido dominada por sistemas fluviais (associações A e B) e campos de dunas e lençóis de areia eólicos (associação D), sendo as fácies lacustres (deltaicas) de ocorrência subordinada (associação C).

A maioria dos arenitos tabulares (elemento SF) corresponde aos espraiaamentos terminais (e.g. Nichols e Fisher, 2007), tendo em vista o caráter desconfinado dos fluxos, concordância dos rumos de paleocorrentes com aqueles oriundos dos depósitos de canal, associação com feições indicativas de exposição subaérea, tais como gretas de ressecamento, calcretes e rizocrefções e intercalação com depósitos eólicos. Conjuntos de camadas oblíquas com rumos de paleocorrentes ortogonais ao seu sentido de mergulho representam formas de acreção lateral de um sistema fluvial meandrante (barras em pontal). No que depende da literatura, tal elemento deposicional é pouco reconhecido na Formação Rio do Rasto, exceção feita ao trabalho de Warren et al. (2008).

A associação de litofácies A, interpretada como de sistemas de barras em pontal, apresenta características condizentes rios de carga mista (de fundo e suspensão). As camadas pelíticas (siltitos e heterolitos) sobre os estratos inclinados (LA) fazem parte do preenchimento do canal e registram períodos de menor descarga fluvial. A presença desses depósitos no topo de barras em pontal é característica indicada nos modelos fluviais de Miall (2006). Não se descarta a possibilidade de que esses canais tenham caráter distributário, compondo, assim, partes de sistemas de leques fluviais ou planícies deltaicas. O conjunto de evidências coletado neste trabalho indica que a primeira hipótese (leques) é a mais provável.



Fonte: modificado de Cain e Mountney (2009).

Figura 13. Modelo esquemático ilustrando o contexto deposicional interpretado para o Membro Morro Pelado na região leste de Santa Catarina e do Paraná.

O empilhamento dos depósitos fluviais do Membro Morro Pelado pode corresponder a um preenchimento agradacional, como é previsto para bacias dominadas por sistemas fluviais distais (Nichols e Fisher, 2007; Weissmann et al., 2010; Davidson et al., 2012).

A presença de feições eodiagenéticas, como gretas de ressecamento e desenvolvimento incipiente de paleossolos, seria proporcionada certamente por variações climáticas, características de ambiente semiárido. As feições descritas como gretas estão confinadas em níveis estratigráficos definidos, não interceptam mais de uma camada, são preenchidas pelo sedimento da camada sobreposta e/ou cimento carbonático, apresentam padrão poligonal quando vistas em planta e, mais importante, estão, na grande maioria das vezes, sob depósitos eólicos, indicando condições subaéreas imediatamente após sua formação. Cunhas ou diques clásticos relacionados aos sismos ocorrem no Permiano Superior da Bacia do Paraná (Milani et al., 2007; Turra et al., 2006), mas não foram observados na área de estudo. Esses sismos tipicamente interceptam várias camadas e exibem feições de deformação (flexura) dos estratos adjacentes (e.g. Montenat et al., 2007), uma característica não observada no presente trabalho.

O espessamento e o aumento das ocorrências de estratos eólicos para o topo atestam crescente aridez em direção ao contato com as formações Piramboia e Botucatu, como documentado por diversos autores — Lavina (1991), Rohn (1994) e Warren et al. (2008).

A principal área para a acumulação de sedimentos transportados pelo vento são regiões amplas em que há a desaceleração e a expansão vertical do fluxo, e onde são gerados os *ergs*; entretanto, bordas dos corpos d'água também são favoráveis para tal acumulação (Kocurek, 1988). Nesse sentido, a acumulação de sedimentos eólicos do Membro Morro Pelado processou-se preferencialmente nas porções terminais dos sistemas fluviais e, subordinadamente, nas bordas de corpos d'água. Na porção superior da unidade, os corpos eólicos se tornam mais espessos e frequentes, constituindo DU e IDU, elementos típicos de acumulações no interior da bacia receptora em clima semiárido. Infere-se, desse modo, progressiva retração do sistema fluvial e expansão do sistema eólico em direção às bordas da bacia, devido ao aumento da aridez combinada à manutenção ou ao acréscimo do espaço de acomodação e a alta taxa de suprimento sedimentar. Entretanto, em sistemas eólicos, o espaço de acumulação não se equivale ao espaço de preservação (Kocurek e Havholm, 1993). A preservação, em sistemas eólicos úmidos, como definido para os estratos eólicos da Formação Rio do Rasto, se processa por subida relativa do nível freático continental, ocasionada por subsidência ou elevação absoluta do nível

freático (Kocurek e Havholm, 1993). Para que houvesse o registro das acumulações eólicas no Membro Morro Pelado, a subsidência deve ter prevalecido, pois ocorreu aumento da aridez e consequente rebaixamento do nível freático. A alta taxa de criação de espaço de acomodação é corroborada pela existência de sistema deltaico dominado por rios na porção superior do Membro Morro Pelado, intercalado em espessas DU eólicas, marcando eventuais períodos mais úmidos, desenvolvimento de lagos efêmeros e afogamento dos campos de dunas.

CONCLUSÕES

A partir do estudo das fácies e dos elementos arquitetônicos do Membro Morro Pelado, parte superior da Formação Rio do Rasto, no leste de Santa Catarina e do Paraná, as seguintes conclusões gerais podem ser listadas:

- (1) o Membro Morro Pelado é composto por quatro associações litofaciológicas: associação litofaciológica A (sistema fluvial meandrante); associação litofaciológica B (sistema fluvial distal); associação litofaciológica C (sistema deltaico dominado por rios); e associação litofaciológica D (sistema eólico úmido);
- (2) cada associação de fácies engloba uma série de elementos arquitetônicos, definidos por sua geometria, arquitetura interna, superfícies limitantes e constituição faciológica, que representam partes dos sistemas deposicionais definidos;
- (3) a associação A corresponde aos depósitos de granulação fina de rios meandrantés, de carga mista ou suspensiva (*fine-grained meandering river*), incluindo os elementos deposicionais LA, LV, FF e CS;
- (4) a associação B é composta por arenitos finos tabulares a lenticulares, depositados por fluxos em lençol e em canais rasos, representativos de espraiamentos terminais fluviais;
- (5) a associação C é definida como delta lacustre (*lacustrine floodplain delta*), ou delta dominado por rios, incluindo ritmitos e arenitos lenticulares/sigmoides dispostos em ciclos de engrossamento/espessamento ascendente representativos de MB;
- (6) a associação D caracteriza-se por depósitos de DU, IDU (planícies e depressões interdunares) e SS depositados em sistemas eólicos úmidos nas porções terminais dos sistemas fluviais e susceptíveis a inundações periódicas. Embora as associações sejam recorrentes na vertical e frequentemente interdigitadas, observa-se aumento da espessura e frequência dos estratos eólicos em direção ao topo do Membro Morro Pelado. Tal padrão de empilhamento reflete tendência de aridização, com expansão dos campos de dunas em direção

às margens da bacia sob condições de altas taxas de suprimento sedimentar e manutenção/incremento do espaço de acomodação.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelos apoios recebidos. Ao Laboratório de Análise de Bacias e Petrofísica (LABAP) da UFPR, pelo suporte à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Alonso-Zarza, A. M. (2003). Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth-Science Reviews*, 60(3-4), 261-298.
- Beurlen, K. (1954). Horizontes fossilíferos das camadas Serra Alta do Paraná. *Boletim DNPM-DGM*, 152, 1-30.
- Blair, T. C., McPherson, J. G. (1994). Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes and facies assemblages. *Journal of Sedimentary Research*, 64(3a), 450-489.
- Cain, S. A., Mountney, N. P. (2009). Spatial and temporal evolution of a terminal fluvial fan system, the Permian Organ Rock Formation, south-east Utah, USA. *Sedimentology*, 56(6), 1774-1800.
- Chrintz, T., Clemmensen, L. B. (1993). Draa reconstruction, the Permian Yellow Sands, northeast England. In: K. Pye, N. Lancaster (Eds.), *Aeolian Sediments, Ancient and Modern* (International Association of Sedimentologists Special Publication 16, 51-161). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Clemmensen, L. B., Henger, J. (1991). Eolian sequence and erg dynamics: the Permian Corrie Sandstone, Scotland. *Journal Sedimentary Research*, 61(5), 768-774.
- Davidson, S. K., Hartley, A. J., Weissmann, G. S., Nichols, G. J., Scuderi, L. A. (2012). Geomorphic elements on modern distributive fluvial systems. *Geomorphology*, 180-181, 82-95.
- DeCelles. P. G., Gray, M. B., Ridgeway, J. D., Cole, R. B., Pivnik, D. A., Pequera, N., Srivastava, P. (1991). Controls on synorogenic aluvial-fan architecture, Beartooth Conglomerate (Paleocene), Wyoming and Montana. *Sedimentology*, 38, 567-590.
- Gama Jr., E. G. (1979). A sedimentação do Grupo Passa Dois (Exclusive Formação Irati): um modelo geomórfico. *Revista Brasileira de Geociências*, 9(1), 1-16.
- Gordon Jr., O. (1947). Classificação das formações gonduânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Boletim DNPM-DGM*, 1, 374-385.
- Hirst, J. P. P. (1991). Variations in alluvial architecture across the Oligo-Mioceno Huesca fluvial system, Ebro Basin, Spain. In: A. D. Miall, N. Tyler (Eds.), *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments, and its implications for hydrocarbon discovery and recovery* (v. 1, 104-111). Tulsa: Society for Sedimentary Geology.
- Holz, M., França, A. B., Souza, P. A., Iannuzzi, R., Rohn, R. (2010). A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 29(2), 381-399.
- Hunter, R. E. (1977). Basic types of stratification in small aeolian dunes. *Sedimentology*, 24(3), 361-387.
- Kocurek, G. (1981). Significance of interdune and bounding surfaces in aeolian dune sands. *Sedimentology*, 28(6), 753-780.
- Kocurek, G. (1988). First-order and super bounding surfaces in aeolian sequences – Bounding surfaces revisited. *Sedimentary Geology*, 56(3-4), 183-206.
- Kocurek, G., Fielder, G. (1980). Adhesion structures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52(4), 1229-1241.
- Kocurek, G., Havholm, K. G. (1993). Aeolian sequence stratigraphy – a conceptual framework. In: P. Weimer, H. W. Posamentier (Eds.), *Siciliclastic Sequence Stratigraphy* (American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 58, 393-409).
- Kocurek, G., Nielson, J. (1986). Conditions favorable for the formation of warm-climate aeolian sand sheets. *Sedimentology*, 33(6), 795-816.
- Lavina, E. L. (1991). *Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano e Eotriássico (intervalo Kazaniano – Citiano) da Bacia do Paraná*. Tese (Doutorado). Rio Grande do Sul: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Mendes, J. C. (1967). The Passa Dois Group (The Brazilian Portion of the Paraná Basin). In: J. J. Bigarella, R. D. Becker, I. D. Pinto (Eds.), *Problems in Brazilian Gondwana Geology*. Curitiba: Instituto de Geologia, Universidade Federal do Paraná.
- Miall, A. D. (1978). Lithofacies types and vertical profile models in Braided River deposits: a summary. In: A. D. Miall (Ed.), *Fluvial Sedimentology* (Memoir, v. 5, 597-604). Calgary: Canadian Society of Petroleum Geologists.
- Miall, A. D. (1985). Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Reviews*, 22(4), 261-308.
- Miall, A. D. (1990). *Principles of sedimentary basin analysis*. New York: Springer Verlag.
- Miall, A. D. (1996). *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*. New York: Springer-Verlag.
- Miall, A. D. (2006). *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*. Berlin: Springer.
- Milani, E. J., Melo, J. H. G., Souza, P. A., Fernandes, L. A., França, A. B. (2007). Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15(2), 265-287.
- Montenat, C., Barrier, P., d'Estevou, P. O., Hibsich, C. (2007). Seismites: An attempt at critical analysis and classification. *Sedimentary Geology*, 196(1), 5-30.
- Nichols, G., Fisher, J. A. (2007). Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits. *Sedimentary Geology*, 195(1-2), 75-90.
- Northfleet, A. A., Medeiros, R. A., Mühlmann, H. (1969). Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. *Boletim Técnico da Petrobras*, 12(3), 291-346.
- Posamentier, W. H., Walker, R. G. (2006). *Facies models revisited*. Tulsa: Society for Sedimentary Geology.
- Pye, K., Tsoar, H. (1990). *Aeolian sand and sand dunes*. London: Unwin Hyman Limited.
- Reading, H. G. (1986). *Sedimentary environments and facies*. Oxford: Blackwell Scientific.
- Rego, M. L. F. (1930). Geologia do petróleo no Estado de São Paulo. *Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil*, 46, 1-105.
- Rohn, R. (1994). *Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Rohn, R. (2007). The Passa Dois Group (Paraná Basin, Permian): investigations in progress. In: *Workshop – problems in the western Gondwana Geology, South America-Africa correlations: du toit revisited*, v. 1, 151-157.
- Rohn, R., Rösler, O. (2000). Middle to Upper Permian phyt stratigraphy of the Eastern Paraná Basin. *Revista Universidade de Guarulhos, Geociências*, 5 (nº especial), 69-73.
- Scheibe, L. F. (1986). *Geologia e petrologia do Distrito Alcalino de Lages*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Schneider, R. L., Mühlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R. A., Daemon, R. F., Nogueira, A. A. (1974). Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. *XVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, v. 1, 41-65. Porto Alegre: SBG.
- Schobbenhaus, L. B. C., Vidotti, R. M., Golçalves, J. M. (2004). *Mapa geológico do Brasil ao Milionésimo, Folhas SG 21 – Asunción e SG.22 – Curitiba Escala: 1:100.000*. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil.
- Turra, B. B., Riccomini, C., Almeida, R. P. (2006). Significado tectônico dos sismitos permotriássicos da Bacia do Paraná. *XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, v. 1, 111. Aracaju: SBG.
- Walker, R. G., James, N. P. (1992). *Facies models: response to sea level change*. Canada: Geological Association of Canada.
- Warren, L. V., Almeida, R. P., Hachiro, J., Machado, R., Roldan, L. F., Steiner, S. S., Chamani, M. A. C. (2008). Evolução Sedimentar da Formação Rio do Rasto (Permo-Triássico da Bacia do Paraná) na Porção Centro Sul do Estado de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(2-suplemento), 213-227.
- Weissmann, G. S., Hartley, A. J., Nichol, G. J., Souderi, L. A., Olson, M., Buehler, H., Benteah, R. (2010). Fluvial form in modern continental sedimentary basins: distributive fluvial systems. *Geology*, 38(1), 39-42.