

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

**Correlações Estratigráficas Conflitantes no Limite Permo-Triássico no Sul da
Bacia do Paraná: O Contato Entre Duas Seqüências e Implicações na
Configuração Espacial do Aquífero Guarani**

Ana Paula Soares, Paulo César Soares, Michael Holz

Pesquisas em Geociências, 35 (2): 115-133, jan./abr., 2009.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/17942>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - jan./abr., 2009.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Correlações Estratigráficas Conflitantes no Limite Permo-Triássico no Sul da Bacia do Paraná: O Contato Entre Duas Seqüências e Implicações na Configuração Espacial do Aquífero Guarani

ANA PAULA SOARES¹; PAULO CÉSAR SOARES² & MICHAEL HOLZ¹

1. Instituto de Geociências da Universidade Federal Rio grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15001 - CEP 91.501-970 - Porto Alegre - RS - Brasil.

2. Universidade Federal do Paraná - Setor de Ciências da Terra, Caixa Postal 19001 - CEP 81531-990 - Curitiba - Paraná - Brasil

(Recebido em 09/08. Aceito para publicação em 03/09)

Abstract - The stratigraphic register of the Guarani aquifer system in the Parana basin involves deposits of the Triassic to the Cretaceous. The register in the south region differs from the other areas of the basin, causing confusion in the stratigraphic conception of the Pirambóia Formation. This formation is correlated with paleozoic deposits whose register is only found in the south region of the basin. The correlation that intends for these units has implications in the space configuration and distribution of the aquifer. The space relationships of this record are reinterpreted. The Rio do Rasto Formation, of late Permian age record alluvial plain system, in a progressive semiarid environment, including dune fields; in the southern part of the basin these dune field are extensive and is represented by thick record, covered again by extensive fluvial deposits of the Sanga do Cabral Fm at the PT boundary. The unconformity above records a generalized uplift, associated to the Gondwanides orogeny and to climatic changes, accompanied by progressive supply and sin-sedimentary deformation. Above the unconformity, aeolian and fluvial deposits of the Mesozoic sequence present division organized in 3 blocks: West, Central and East. Three depositional cycles were identified. The first, unconformable over Permian rocks, occurs only in the Central Block, with fluvial and lacustrine deposits filling small rifts (Santa Maria and Caturrita fms). The second cycle extends over the whole basin with fluvial deposits and humid aeolian (formations Guará and Pirambóia); the fluvial and aeolian Guará Fm lies unconformable over Sanga do Cabral Fm in the West Block. In the East Block the aeolian and fluvial unit identified as Pirambóia Fm correlative; it occurs unconformable over the Rio do Rasto Fm, omitting the Sanga do Cabral Fm and the rocks of the first cycle. The third cycle system tract records super arid dune fields of the Botucatu Formation. The Late Permian aeolian facies of the Sanga do Cabral Fm, previously called by some authors as the Pirambóia Fm, doesn't present interfingers and doesn't constitute a hydrostratigraphic unit connected to the Guarani System.

Keywords - Permian-Triassic unconformity, Mesozoic sedimentation, Guarani Aquifer System

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os arenitos predominantemente eólicos do Mesozóico da Bacia do Paraná adquiriram notoriedade e importância econômica e social em virtude da definição do Sistema Aquífero Guarani (SAG). Estes arenitos estendem-se por mais de um milhão de quilômetros quadrados, alcançando espessuras próximas de 800 m, dentro de um arcabouço estrutural muito apropriado para a formação de aquíferos. Os mesmos distribuem-se nos territó-

rios brasileiro, paraguaio, uruguaio e argentino, incluindo diferentes unidades estratigráficas: Santa Maria, Caturrita, Guará, Pirambóia e Botucatu no Brasil; Taquarembó, no Uruguai; e Misiones, no Paraguai e na Argentina. Significativas divergências quanto à idade e posição estratigráfica dos depósitos eólicos e fluviais da Formação Pirambóia e unidades correlatas tem sido evidentes na literatura, como por exemplo, em Gammernann (1970), Soares (1981), Lavina e Scherer (1994) e Milani *et al.* (1997).

A determinação da configuração espacial das

unidades que compõem o Sistema Aquífero Guarani constitui o propósito principal deste trabalho, aprofundando a base atual de conhecimento de seu arcabouço físico, qualificando suas propriedades geológicas, heterogeneidades e compartimentos, focalizando as áreas onde se explicitaram as diver-

gências quanto à posição cronoestratigráfica das unidades que compõem o Sistema Aquífero Guarani: no sul-sudeste da Bacia do Paraná, mais especificamente no Rio Grande do Sul, comparativamente com Santa Catarina (Fig. 1).

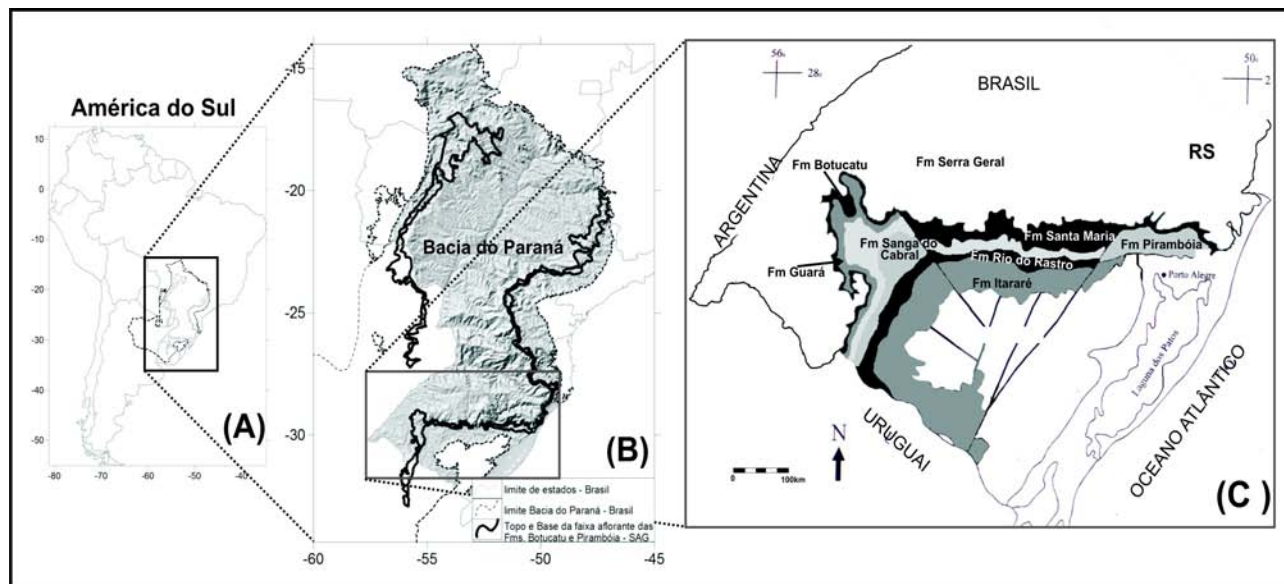


Figura 1 - (A)Localização da bacia do Paraná na América do Sul, localização da faixa aflorante do SAG no Brasil em Modelo Digital de Elevação(B) e (C) Mapa geológico da bacia do Paraná na região sul. Extensão das faixas aflorantes do intervalo estudado com divisão dos blocos oeste, central e leste. Modificado de Scherer, 2000.

Os sedimentos fluvio-eólicos da Fm Pirambóia e eólicos da Fm Botucatu são carentes de fósseis com valor cronoestratigráfico, gerando correlações conflitantes e diferentes interpretações para as unidades que envolvem o limite Permo-Triássico e a própria definição deste limite. Seriam partes de um mesmo sistema desértico, passando de uma condição úmida para mais seca, superposto pelo vulcanismo da Fm Serra Geral (Washburne 1930; Almeida, 1950; Sanford & Lange 1960; Gamermann 1973; Soares, 1975). A Fm Pirambóia, distribuída em grande parte da bacia, tem sido considerada parte da seqüência triássico-jurássica, que incluiria também as formações Santa Maria (Almeida, 1950, Montardo 1982) e Botucatu. Entretanto, alguns autores a consideram sotoposta, em discordância, tanto à Fm Santa Maria (Lavina *et al.* 1993, Scherer 2002) como à Fm Botucatu (Gordon Jr. 1947, Vieira

1973), como parte da Seqüência Neo-Paleozóica.

Na parte central e oeste do Rio Grande do Sul afloram espessos pacotes de arenitos eólicos, dentro do pacote Neo-Permiano, sotopostos a depósitos fluviais da Fm Sanga do Cabral (porção inferior do Triássico), os quais foram, a partir da década de 70, correlacionadas (Figs. 2 e 3), por suas similaridades, aos arenitos Pirambóia (Gamermann 1973; Soares, 1981; Lavina *et al.*, 1992), caracterizando um dos maiores hiatos da Bacia do Paraná (Milani 1992; Milani *et al.* 1997; Scherer 2000). Entretanto, é questionado se a maior parte da Bacia do Paraná seria desprovida de registro de sedimentação por um longo período (Triássico a Eo-Jurássico), com uma discordância de tal ordem separando dois registros desérticos, e preservando uma continuidade faciológica que, em muitos locais, torna difícil a distinção entre uma unidade e outra.

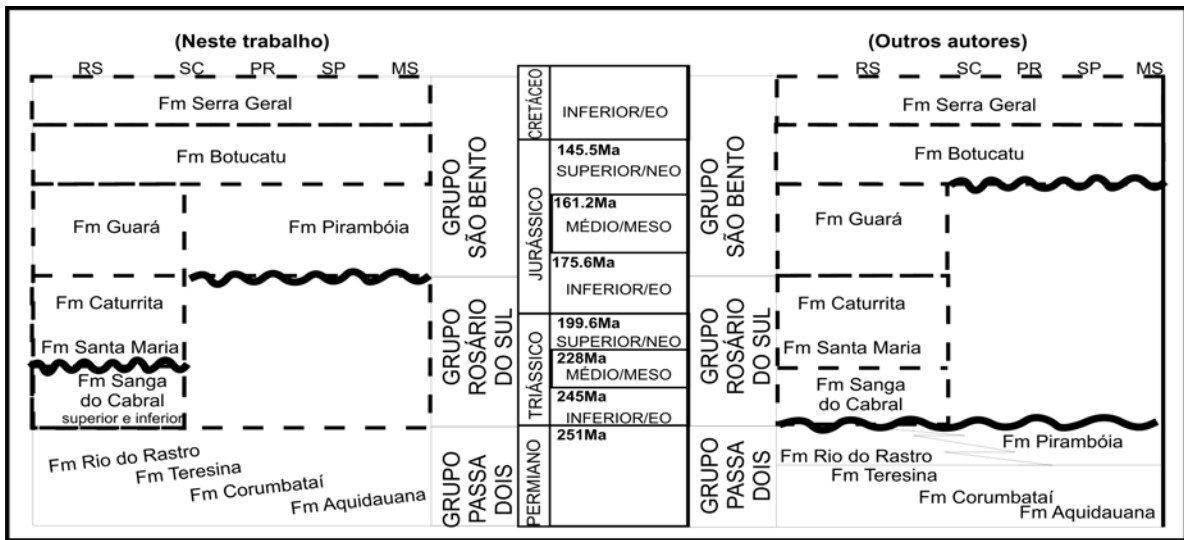


Figura 2 - Quadro esquemático mostrando duas interpretações para a distribuição cronoestratigráfica das Unidades do intervalo entre final do Permiano e início do Cretáceo na Bacia do Paraná-BR (idades baseadas na escala de Tempo Geológico da International Commission on Stratigraphy, Gradstein e Ogg 2004).

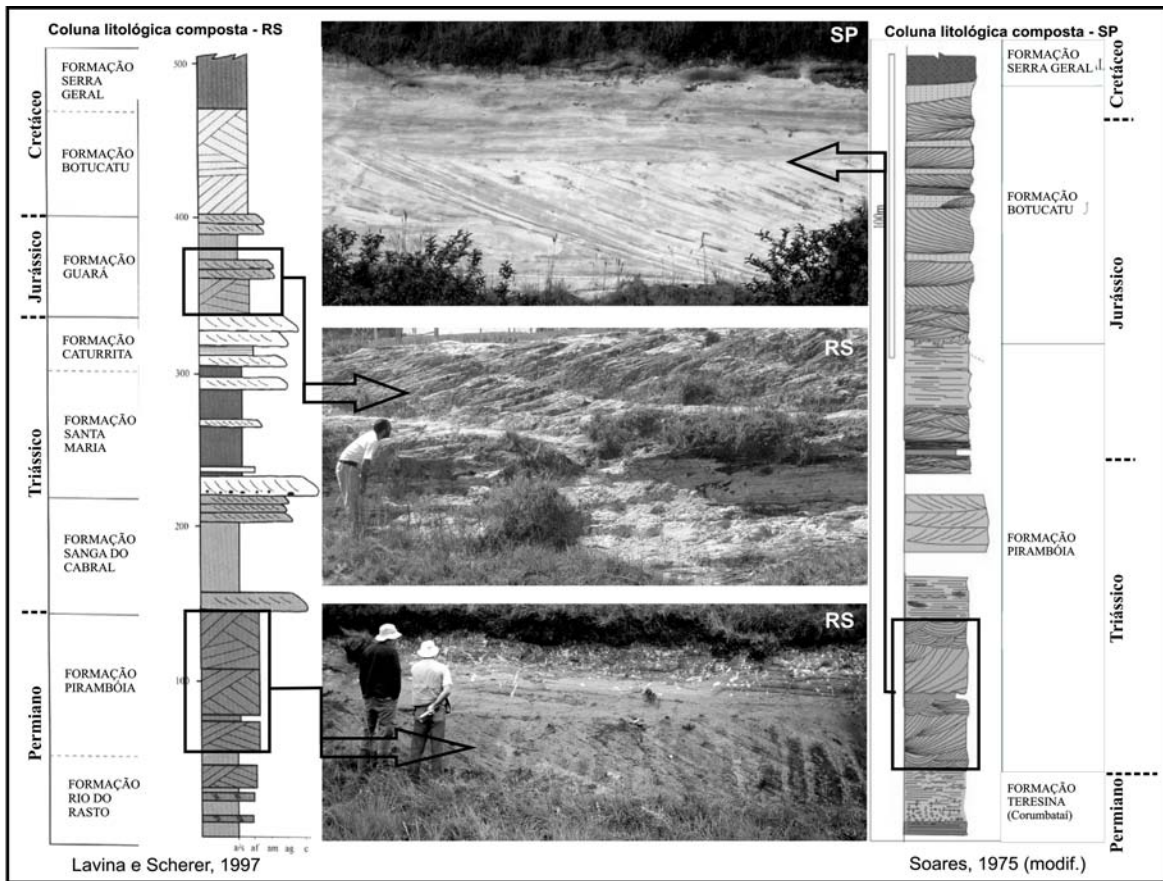


Figura 3 - Coluna litológica composta para o intervalo estudado em São Paulo (modificado de Soares, 1975) e para o Rio Grande do Sul (modificado de Lavina e Scherer, 1997) com fotografias de afloramentos (localizado na coluna) mostrando os elementos Arquiteturais de dunas e interdunas úmidas.

As concepções conflitantes sobre a disposição e correlação neste intervalo permanecem até o presente, tornando-se mais significativas em se tratando do Sistema Aquífero Guarani, em função da extrapolação das relações espaciais e transições

entre os dois principais componentes do aquífero: as formações Pirambóia e Botucatu, no interior da bacia.

Na porção sul da bacia o registro do intervalo Mesozóico tem sido diferenciado em três blo-

cos, limitados por importantes falhas regionais (Fig. 4). No presente estudo as unidades envolvidas estão descritas separadamente e posteriormente são correlacionadas. A análise estratigráfica é baseada em dados de afloramentos, seções medidas em campo e perfis de poços (Fig. 4).

Os dados de informações litológicas, geofísicas e estratigráficas foram associados aos mapas, organizados em sistema georreferenciado. A partir daí partiu-se para a análise de fácies e relações espaciais, correlacionando-se dados de campo e de poços, finalizando com a composição de seções estratigráficas regionais. Estes conjuntos de operações envolveram:

- Análise dos perfis litológicos e geofísicos dos poços para petróleo e água (CPRM, PETROBRAS e PAULIPETRO);
- Levantamento de perfis de campo distribuídos na porção aflorante da Bacia do Paraná, no seu flanco leste, em Santa Catarina, e na porção sul, no Rio Grande do Sul;
- Reconhecimento de superfícies estratigráficas regionais marcadoras de eventos climáticos, tectônicos, erosivos, deflacionais, de mudança de suprimento, e de direção de transporte;
- Composição de seções estratigráficas regionais, de fácies elétricas, identificação de litofácies e de elementos arquiteturais.

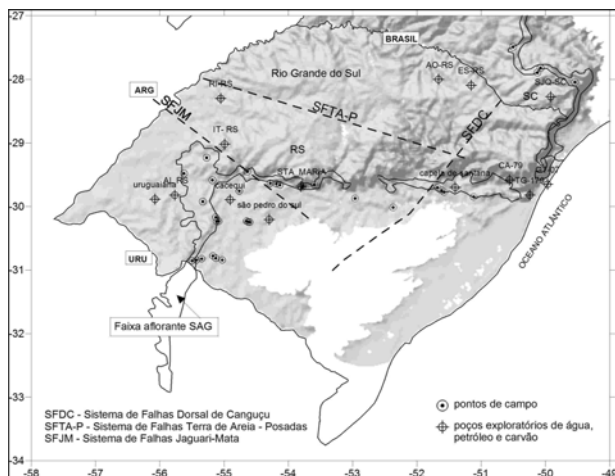


Figura 4 - Mapa de modelo digital de elevação do Rio Grande do Sul e principais estruturas (Zerfass 2000). Localização dos dados utilizados na Análise Estratigráfica: pontos de campo: RS, SC e localização de poços exploratórios (PAULIPETRO; PETROBRÁS; CPRM).

ESTRATIGRAFIA E CORRELAÇÕES REGIONAIS

A análise faciológica em perfis de poços e afloramentos possibilitou consolidar uma concepção estratigráfica, mostrando uma complexa relação

entre as unidades litoestratigráficas em questão. As diferentes composições e associações faciológicas foram comparadas com seções estudadas e interpretadas por diversos autores, as quais são descritas, ilustradas e interpretadas.

Formação Sanga do Cabral

No sul-sudoeste e centro-sul da Bacia do Paraná afloram cerca de 100 m de arenitos avermelhados, quartzosos, de granulação bimodal fina a média, com grãos foscos e arredondados. Esses arenitos apresentam estratificação cruzada tangencial de médio porte, indicando paleocorrentes predominante para sudeste. Intercalam-se com fácies de arenito avermelhados, granulometria fina a média, matriz argilosa e estratificação subhorizontal (Fig. 5). Constituem, respectivamente, depósitos de dunas e interdunas úmidas, os quais foram inicialmente interpretados, por Gamermann (1973), como fluviais e incluídos na seção tipo da Fm Rosário do Sul, sendo correlacionados, por similaridade litológica, com a Fm Pirambóia (Gamermann 1973; Soares 1975, Lavina 1989; Lavina *et al.* 1993).

Atualmente, esta unidade eólica é considerada Eo-Scitiana por situar-se acima dos depósitos de planície de inundação da Fm Rio do Rasto (Permiano) e abaixo dos depósitos fluviais da Fm Sanga do Cabral (Lavina 1983; Barberena *et al.* 1985). Posteriormente estes arenitos eólicos descritos acima foram incluídos, como unidade inferior, na Formação Sanga do Cabral por alguns autores (Lavina 1992, Faccini 2000).

Os arenitos superiores da Fm Sanga do Cabral (Andreis *et al.* 1980; 1982) são avermelhados, de granulometria predominantemente fina e lentes conglomeráticas com estratificação cruzada acanalada. Apresentam intercalações de siltitos laminados e arenitos com estratificações plano-paralelas incipientes. A característica marcante desta unidade é a presença de concreções carbonáticas. São depósitos associados a um sistema fluvial entrelaçado, com canais rasos e largos (Fig. 6). Estes depósitos são mais espessos para oeste, assim como a unidade de arenitos eólicos.

Em subsuperfície a unidade eólica atinge 200 m de espessura em poços tubulares no Município de Cacequi (RS), descritos como arenitos finos avermelhados, com grãos arredondados e bem selecionados, interpretada como Fm Pirambóia por Machado (2006). Neste trabalho, para estes arenitos descritos no poço de Cacequi, são identificadas duas unidades dentro da Formação Sanga do Cabral, uma inferior (eólica) e uma superior (fluvial) (Fig. 7).

No perfil composto do poço AL-1-RS (Fig.

7) a seção comparável à Fm Sanga do Cabral é identificada entre as profundidades 270 e 880m, alcançando notável espessura de 600 m: a porção superior, com 400 m de espessura, é formada por arenitos vermelhos e rosados, finos a grossos, mal selecionados, interpretados como depósitos fluviais; na porção inferior, com cerca de 200 m, ocorrem arenitos vermelhos rosados, finos e médios, bem

selecionados interpretados como eólicos. Acima, são identificadas as seções similares e consideradas correspondentes às unidades Guará (Scherer & Lavina 2006), com 160 m, e Botucatu, com 70 m de espessura; seções equivalentes, com menor espessura, são identificadas nos perfis dos poços RI-1-RS e IT-1-RS.



Figura 5 - Sistema Eólico do Permiano Superior, incluído no Grupo Rosário do Sul, correlacionado com a Formação Pirambóia por diversos autores - Rodovia São Gabriel – Rosário do Sul (bloco oeste). O perfil representa a coluna litológica composta do intervalo no sul da bacia, apresentada na figura 3, em destaque a porção referida na fotografia.



Figura 6 - Formação Sanga do Cabral. Afloramento na rodovia BR 287, 10 km a oeste do município de São Pedro do Sul. O arenito é essencialmente arenoso, com a diferenciação granulométrica destacada no perfil. Arenito fino, matriz argilosa, geometria em canais; arenitos grossos e conglomeráticos, com concreções carbonáticas em delgadas lentes - (NeoPermiano - Eo-Triássico - Lavina 1983; Barberena *et al.* 1985) - Sistema Fluvial, entrelaçado de baixa energia; transporte para norte. O perfil representa a coluna litológica composta do intervalo no sul da bacia, apresentada na figura 4, em destaque a porção referida na fotografia.

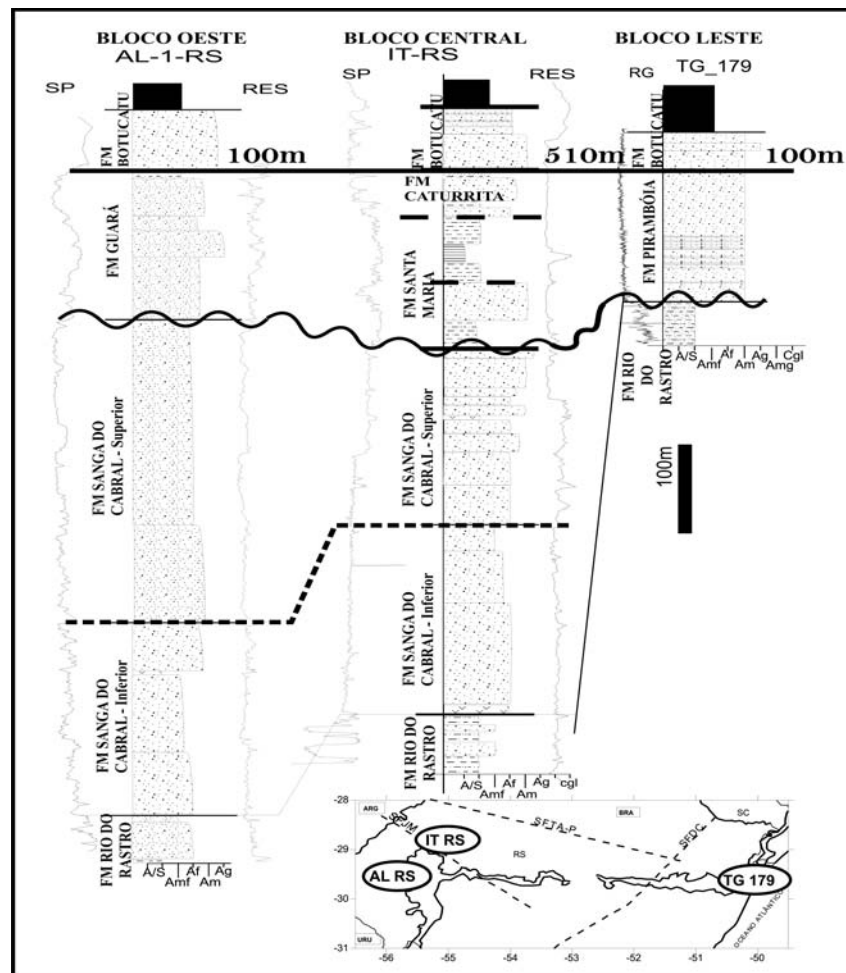


Figura 7 - Seção estratigráfica de subsuperfície. Construída a partir dos poços exploratórios AL-RS, IT-RS e TG-179, representando os blocos Oeste (W), Central (C) e Leste (E). As linhas separam as unidades litoestratigráficas e suas correlações entre os blocos. Localização dos poços no mapa.

Formação Santa Maria - Bloco Central

A Fm Santa Maria é representada por uma sucessão de 100 m de arenitos e pelitos depositados em condições continentais, provenientes de sistema deposicional flúvio-lacustre. A mesma é portadora de fósseis de vertebrados (tecodônios, esfenodontídeos, rincossauros, cinodontes, dicinodontes, dinossauros e peixes), invertebrados (conchostráceos e insetos) e vegetais (coníferas) de idade Ladiniana-Eonoriana (Faccini 1989).

Limitada por discordâncias, é composta por três unidades verticalmente empilhadas e com relações de interdigitação, permitindo a seguinte divisão litoestratigráfica da base para o topo: Unidade Passo das Tropas (psamítica), Unidade Alemoa (pelítica) e Unidade Caturrita (psamítica). Tem ocorrência restrita em termos de bacia, porém seu conteúdo fóssilífero é notável. As três unidades são consideradas membros, embora a superior tenha sido proposta a categoria de Formação (Bortoluzzi 1974).

A unidade Passo das Tropas é formada por

corpos espessos de até 5m de arenitos acinzentados de granulação grossa, conglomeráticos, feldspáticos, micáceos, intercalados com finas camadas de pelitos. Possuem estratificação cruzada e *climbing ripples* com direção de transporte para norte, nordeste e oeste. Alcança aproximadamente 40m de espessura, apresentando, com frequência, fósseis vegetais meso-triássicos da flora *Dicroidium*. Esta unidade é constituída por depósitos de canais de baixa sinuosidade e planícies aluviais, com menor contribuição de fácies finas (Fig. 8-a), representando o estabelecimento de um sistema fluvial proximal, estilo de canal *multistorie* (Faccini *et al.* 2000), implantado sobre o paleorelevo da Fm Sanga do Cabral.

O contato basal desta unidade é marcado por uma superfície erosional, uma desconformidade regional com hiato deposicional e paleontológico definido entre o Triássico Inferior e Médio (Faccini 1989; Schultz 1995). Exceto em pontos isolados, os limites do contato não são diretamente observáveis (Faccini 2000). O contato superior é representado

por interdigitação com os pelitos vermelhos lacustres do Membro Alemoa (Fig. 8-b), caracterizando uma progressiva ampliação do ambiente lacustre, atestado por uma deposição essencialmente pelítica, de até 50 m de espessura.

Zonas de concrecionamento tipo caliche em paleossolos são comuns, indicando clima semi-árido. A unidade é representativa do Triássico na bacia devido ao volumoso conteúdo de vertebrados fósseis (Barberena *et al.* 1985; Holz e Scherer 1998; Schultz *et al.* 2000).

A unidade Caturrita (Formação *sensu* Bortoluzzi, 1974) compreende corpos lenticulares de arenitos de granulação grossa a fina, freqüentemente com clastos de argila, intercalados e sobrepostos ao

pacote pelítico do Membro Alemoa da Fm Santa Maria. Predominam estratificações cruzadas exibindo paleocorrentes para nordeste. A presença de fósseis nesta unidade indica idade Neo-Triássica, podendo se estender ao início do Jurássico.

Esta unidade representa o assoreamento rápido do lago por um sistema fluvial anastomosado com canais múltiplos instalado no Neo-Triássico. Com espessura variável de até 60 m, os arenitos registram depósitos de rios semi-encaixados em amplas planícies, freqüentemente sujeitos a extravasamento de canal (Fig. 8-c). As características sedimentológicas indicam clima seco sob a influência de regimes de chuvas esporádicas e torrenciais.

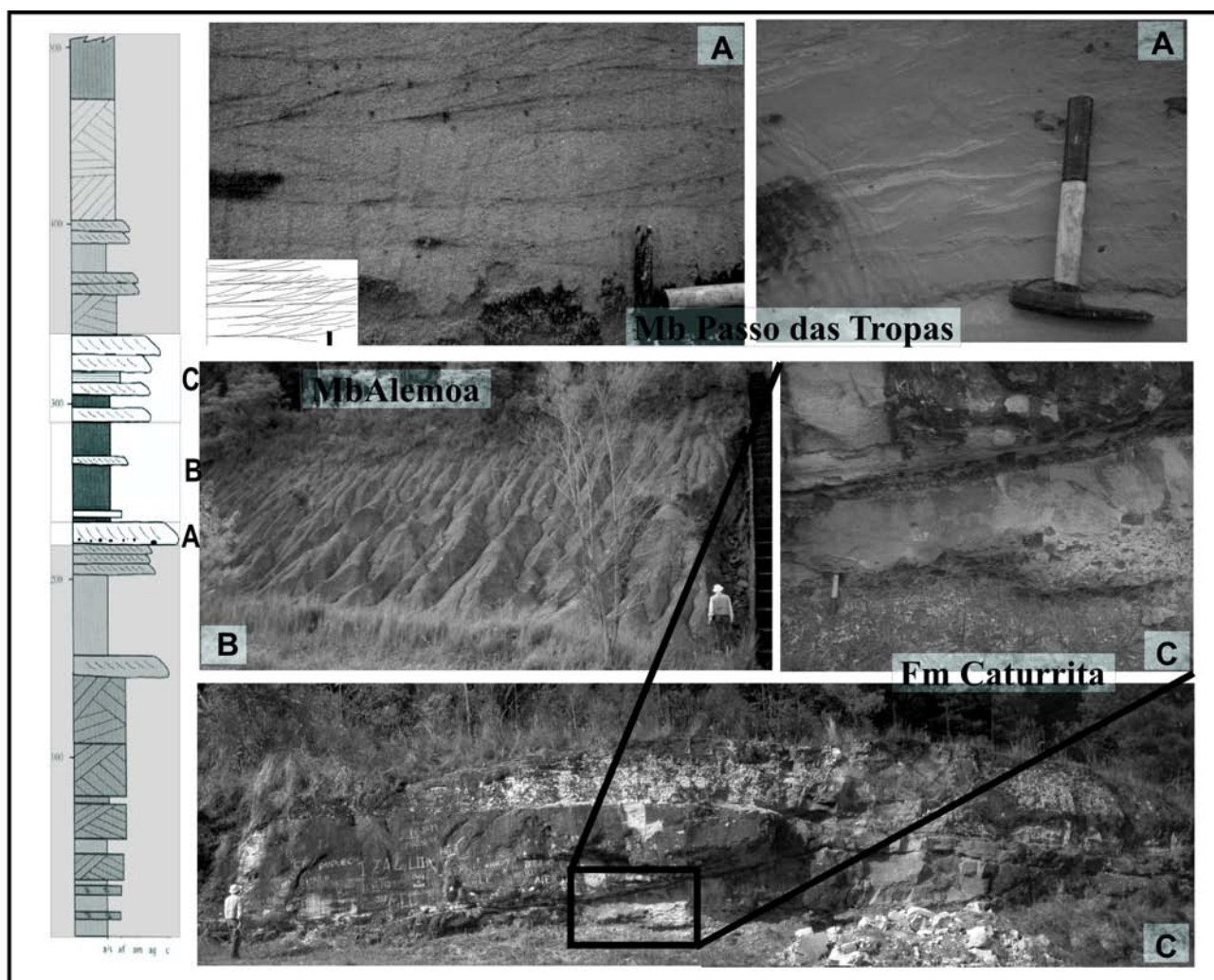


Figura 8 - Aspectos sedimentológicos da Formação Santa Maria Membro Passo das Tropas (a), afloramento próximo ao município de Santa Maria, detalhe das estratificações *climbing ripples* no arenito. Triássico Médio - Sistema Fluvial; Mb. Alemoa (b) Afloramento de 15m de altura, bem homogêneo, sendo composto por argilito-siltito vermelho alaranjado, possui concreções de CaCO₃; Notar padrão geral do afloramento e característico do Mb Alemoa: padrão de ravinamento, devido a baixa condição de infiltração da rocha. Sistema Fluvio-lacustre - planície de inundação do Triássico Médio (trevo de entrada ao Município de Santa Maria); (c) Formação Caturrita - Sistema Fluvial do Triássico Superior: Corpo lenticular de arenito de granulação fina-média quartzoso, pouco feldspato e raramente micáceo; estratificação cruzada tangencial na base. Arenito de granulação fina, siltoso, estratificação cruzada tangencial na base. Arenito de granulação fina, siltoso, estratificação cruzada tangencial na base. Arenito de granulação fina, siltoso, estratificação cruzada tangencial na base. Possui intraclastos argilosos, avermelhados e brechados; possui icnofósseis; começo da estrada no Município de Camobi, estrada para Silveira Martins(RS). Unidade destacada no perfil litológico geral esquemático (as idades são correspondentes às respectivas formações, retiradas de Faccini, 2000).

Relações estratigráficas e espaciais

As formações Santa Maria e Caturrita afloram somente no bloco central do Rio Grande do Sul, limitado por falhas de borda de *rifte* (Zerfass 1998, Zerfass *et al.* 2004). O limite oeste é dado pelo “Sistema de Falhas Jaguari-Mata”, de direção noroeste, e o leste pela reativação da “Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu” (Fernandes *et al.* 1995), de direção nordeste, e idade pré-cambriana. O “Sistema de Falha Terra de Areia - Posadas”, de direção noroeste, é um possível delimitador do rifte a norte (Fig. 4). As litofácies desta unidade ocorrem no sul e sudoeste (poços IT-RS e RI-RS), não se estendendo para norte e nordeste (poços ES-RS e AO-RS).

A Fm Caturrita é recoberta em discordância erosiva pela Fm Botucatu, destacada por uma superfície de deflação com acúmulo de seixos em delgada camada, sobreposta por arenitos eólicos. Localmente, a Fm Botucatu está ausente e os basaltos da Fm Serra Geral assentando-se diretamente sobre a Fm Santa Maria. Esta relação de contato é significativa pela omissão de unidades que, fora da zona de preservação da formação Santa Maria, é marcada pela deposição das formações

Guará, a oeste, e Pirambóia, a leste.

Formação Guará - Bloco Oeste

Aflorantes no bloco oeste do Rio Grande do Sul encontram-se sobrepostas, em discordância, aos arenitos eólicos e fluviais da Fm Sanga do Cabral (Scherer e Lavina, 2006). Espessam-se para oeste e se estendem para o interior e norte da bacia, conforme perfis dos poços Al-1-RS e IT-1-RS.

Na porção sul da área predominam arenitos finos, bem selecionados, de cor bege, grãos arredondados, com estratificação cruzada tangencial na base, em conjuntos de espessura de até 3 m. Intercalam-se com arenitos finos de estratificação plano-paralela a sub-horizontal, maciço e, por vezes, níveis centimétricos de pelito avermelhado e variado.

A unidade é interpretada como depósito de um sistema eólico úmido, com dunas e lençóis de areia. As paleocorrentes eólicas indicam migração das dunas predominantemente para nordeste. A sucessão de fácies mostra um aumento da umidade para cima, evidenciadas pela presença das estruturas de adesão e paleossolos, voltando a ficar seco no topo (Fig. 9a).

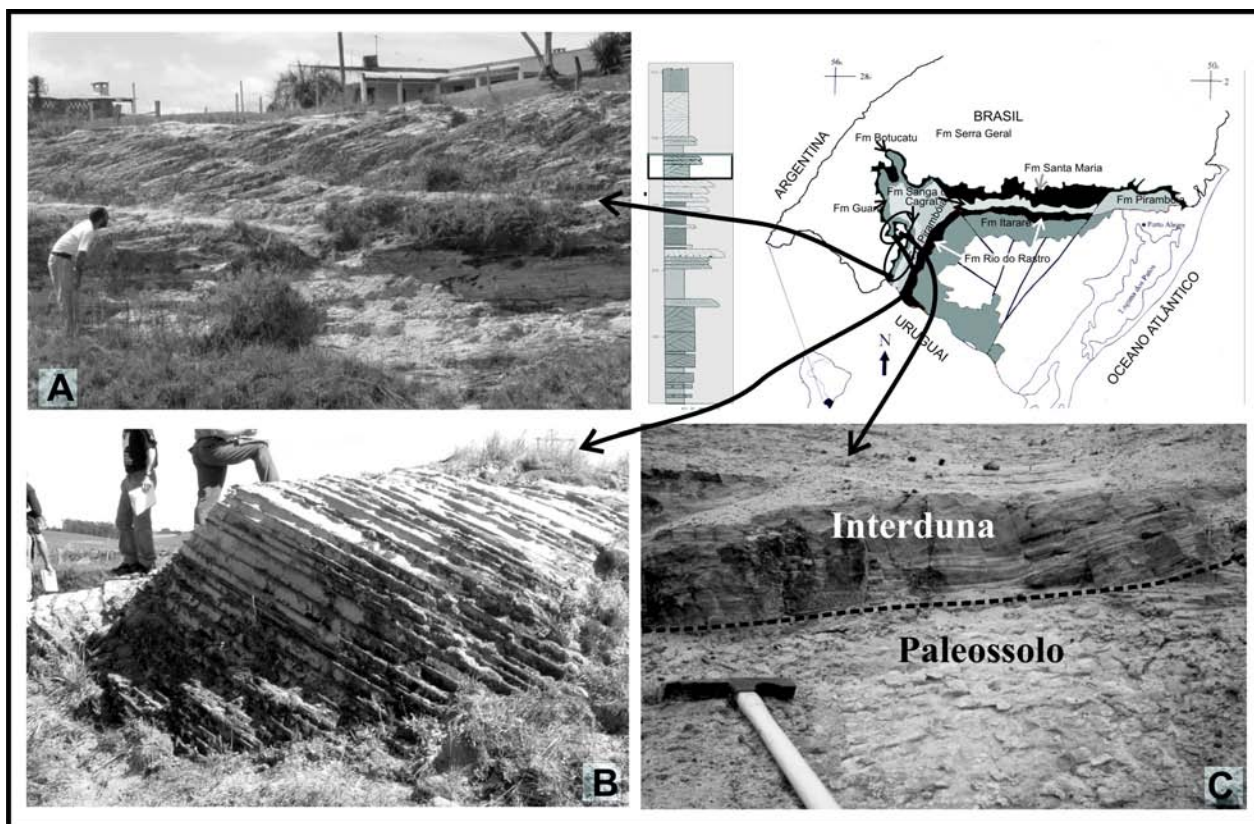


Figura 9 - Formação Guará no sudoeste do Rio Grande do Sul, onde predomina o Sistema Eólico úmido. (A) Afloramento no Município de Santana do Livramento. Arenito esbranquiçado com estratificação cruzada, subhorizontal e maciço, fácies de duna e interduna e fluvial. (B) Arenito bem selecionado com estratificação cruzada de grande porte. Presença de estruturas internas de fluxo de grão, laminações cavalgantes e queda de grão, depósito de duna. (C) fácies de interduna com paleossolo.

Na porção norte do bloco oeste predominam arenitos bege e esbranquiçado, com granulometria grossa / média, por vezes fina com matriz argilosa, compostos por principalmente por quartzo e subordinadamente por feldspatos, subangulosos e mal selecionados. Possuem estratificação cruzada acanalada, plano-paralela e maciça. Intercalam-se com pacotes centimétricos de pelitos e arenitos finos com *climbing ripples*. São depósitos fluviais atribuídos a

rios entrelaçados, com direção de fluxo para sudoeste (Fig. 10).

No Uruguai, a unidade equivalente (Fm Taquarembó inferior) apresenta fósseis diversos, incluindo gastrópodes, répteis *Meridiosaurus sp.*, peixes e conchostráceos, com idade entre Triássico e Jurássico (Mones e Figueira, 1980; De Santa Ana & Veroslavsky 2003; Scherer e Lavina, 2005).

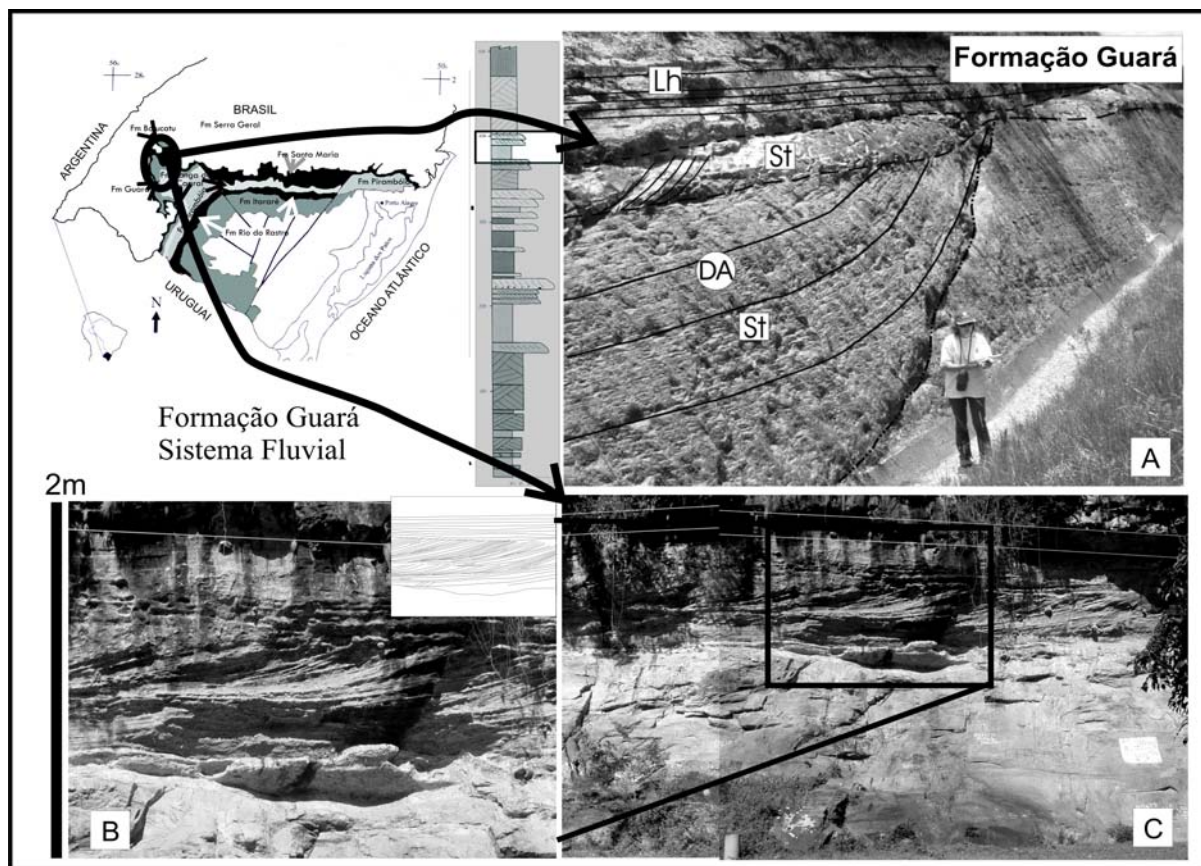


Figura 10 - Formação Guarani, Jurássico - Sistema Fluvial . (A) Arenito com feição de canal, fácies internas (St) e externas (Lh) ao canal - afloramento próximo ao município de São Francisco de Assis / noroeste do Rio Grande do Sul-; (B e C) arenito com estratificação cruzada tangencial, fácies interna ao canal; Elemento arquitetural: acreção lateral (LA) - afloramento próximo ao município de Santiago / noroeste do Rio Grande do Sul.

O contato superior entre os arenitos das Fms Guarani e Botucatu é abrupto. Localmente, são encontradas grandes fraturas poligonais (Fig. 11) nas quais o arenito superior preenche o espaço gerado pela contração do arenito inferior. As cunhas de areia que revelam a exposição dos arenitos desérticos do topo da Fm Guarani são formadas pela contração termal em desertos frios, típicos de médias latitudes, gerando aberturas preenchidas por areia

(“*fentes en coin*”; Campy e Macaire, 1989; Soares et al. 2007).

Esta estrutura permite inferir que o tempo de não-deposição entre as fácies não é muito prolongado por não haver feições erosivas, tendo ocorrido apenas parada na deposição. As associações de fácies indicam uma maior desertificação, alcançando clima super árido.

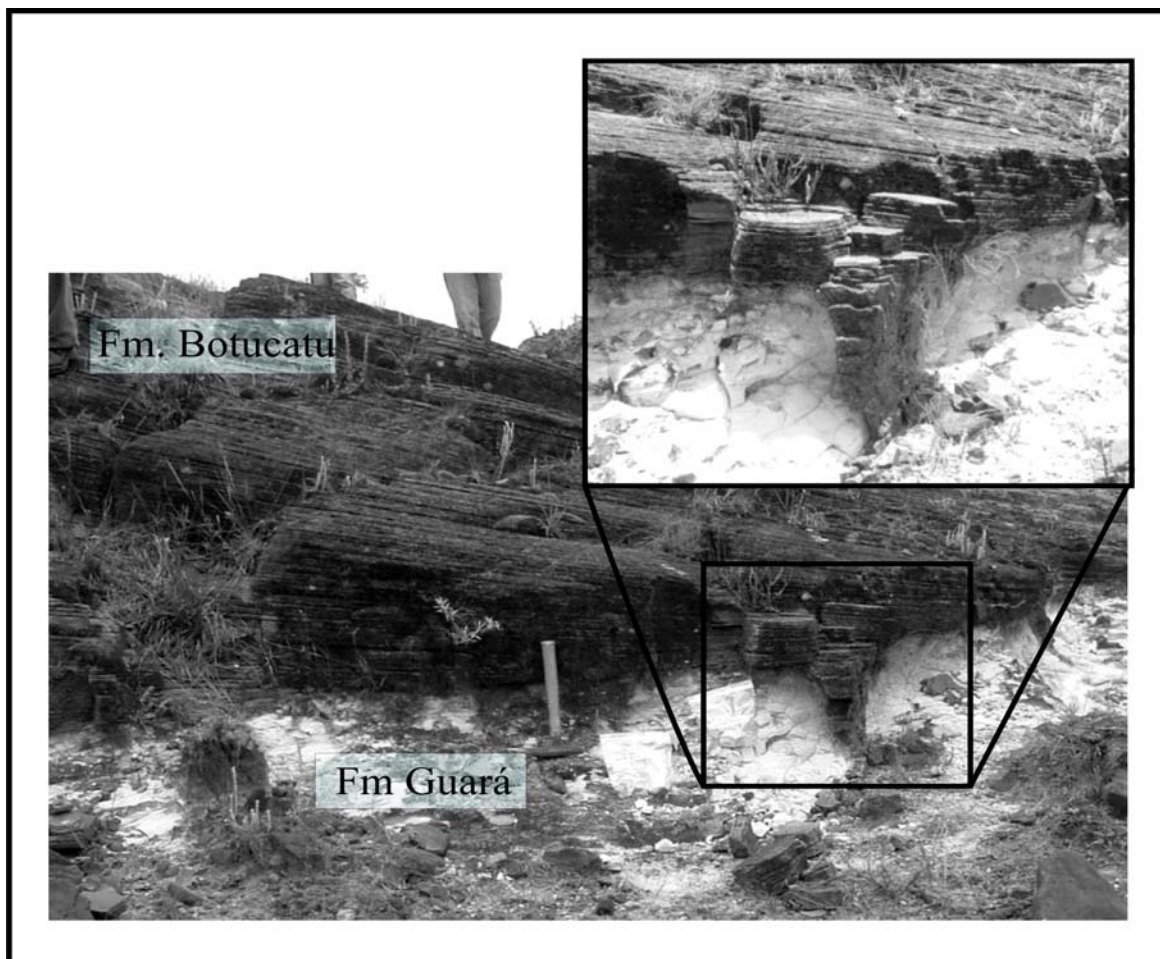


Figura 11 - Contato da Formação Guará com arenitos eólicos da Formação Botucatu, dado por fraturas poligonais (“fentes em coin”) A fendas são observadas no arenito maciço fluvial da FM Guará (arenito de cor clara na parte inferior da foto) sendo sobrepostos pelo arenito avermelhado com estratificação cruzada (formação Botucatu), este preenchendo as fendas.

Formação Pirambóia - Bloco Leste

No bloco leste do Rio Grande do Sul ocorre extensa faixa de afloramentos de arenitos fluviais e principalmente eólicos, com cimentação parcial de sílica e limonita ou goethita, conferindo aos mesmos cor castanha amarronzada, com pintas e manchas brancas e ocre. Estão bem expostos na base de escarpas, entre os municípios de Esteio e Santo Antônio da Patrulha (leste do RS), com seções completas expostas em Morungava, especialmente no Morro Vira Machado (próximo da capital do RS, Porto Alegre) (Fig. 14).

Com espessura inferior a 10 m, na parte inferior desta unidade, ocorrem arenitos fluviais de granulometria grossa, imaturos, feldspáticos, com clastos de lamito vermelho. Apresentam uma sucessão de *sets* centimétricos de estratificação cruzada acanalada intercalados com arenitos maciços. Paleocorrentes fluviais predominam para nordeste. O contato basal é erosivo diretamente sobre a Fm Rio do Rasto, mostrando, localmente,

leve angularidade na discordância (Fig. 12). Esta relação de contato, com omissão da seção fluvial da Fm Sanga do Cabral e da Fm Santa Maria são importantes para a caracterização da discordância.

Sobrepostos aos arenitos fluviais (basais) encontram-se aproximadamente 70 m dos arenitos avermelhados, com maturidade mineralógica moderada, apresentando grãos de quartzo foscos e bem selecionados, com predomínio de estratificação cruzada associada com estratificação sub-horizontal (Fig. 13). São depósitos de dunas, com interdunas úmidas, de sistema eólico, cujas estruturas indicam paleocorrentes para sudoeste e noroeste. Nos depósitos de interdunas ocorrem delgadas lâminas de lamito, exibindo estruturas de ressecamento, icnofósseis e estruturas semelhantes a impressões vegetais, descritas por Nowatzi e Kern (2000).

A correlação destes arenitos em perfis de diferentes poços (Fig. 14) mostra um contato basal da unidade Pirambóia como uma superfície erosiva bastante irregular, escavada sobre arenitos muito finos e pelitos da Fm Rio do Rasto.

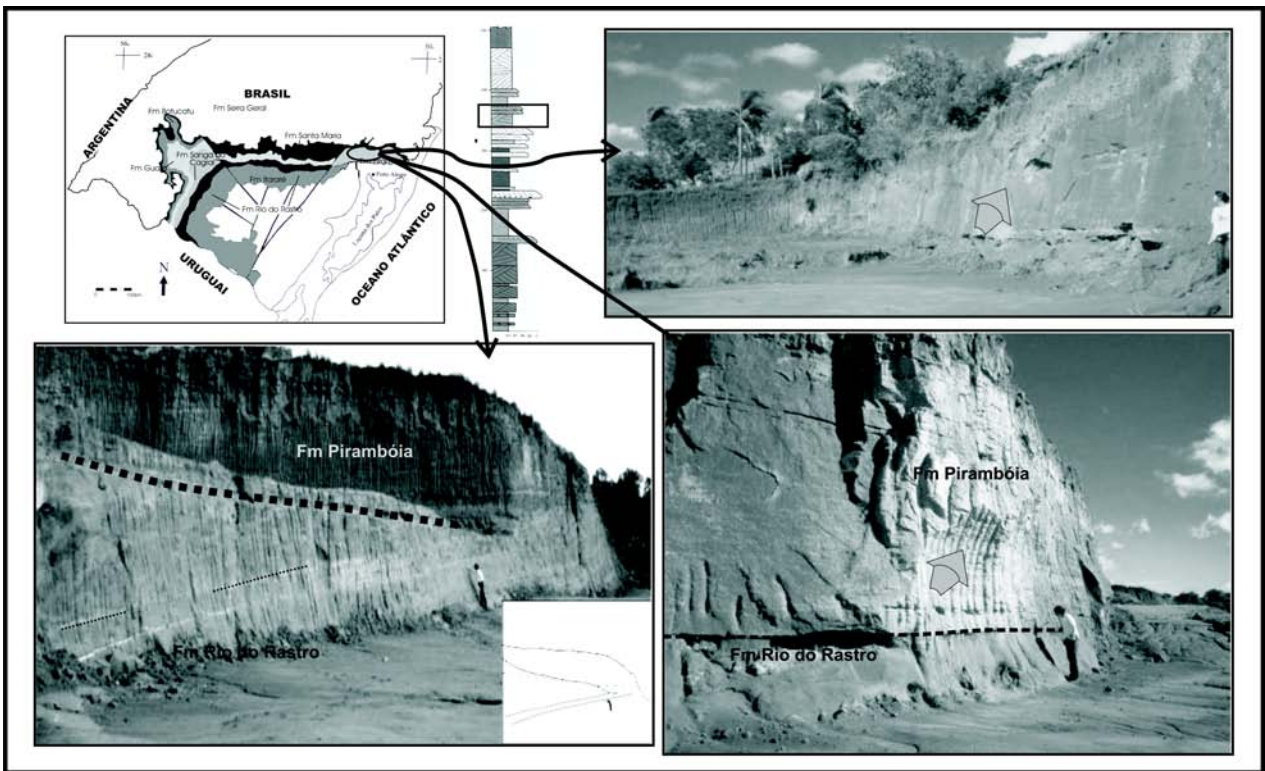


Figura 12 - Bloco leste, município de Sapucaia do Sul. Contato discordante entre arenitos fluviais da Formação Pirambóia (seta indicando paleocorrente) e pelitos da Formação Rio do Rastro. Triássico Médio? Superior?



Figura 13 - Arenitos avermelhados da Formação Pirambóia do Bloco LESTE, Município de Gravataí, região metropolitana de Porto Alegre, RS. Sistema Eólico úmido com dunas e interdunas. Perfil litológico mostrando a localização da Formação Pirambóia na coluna esquemática do intervalo Mesozóico do estado do RS - ver figura 4.

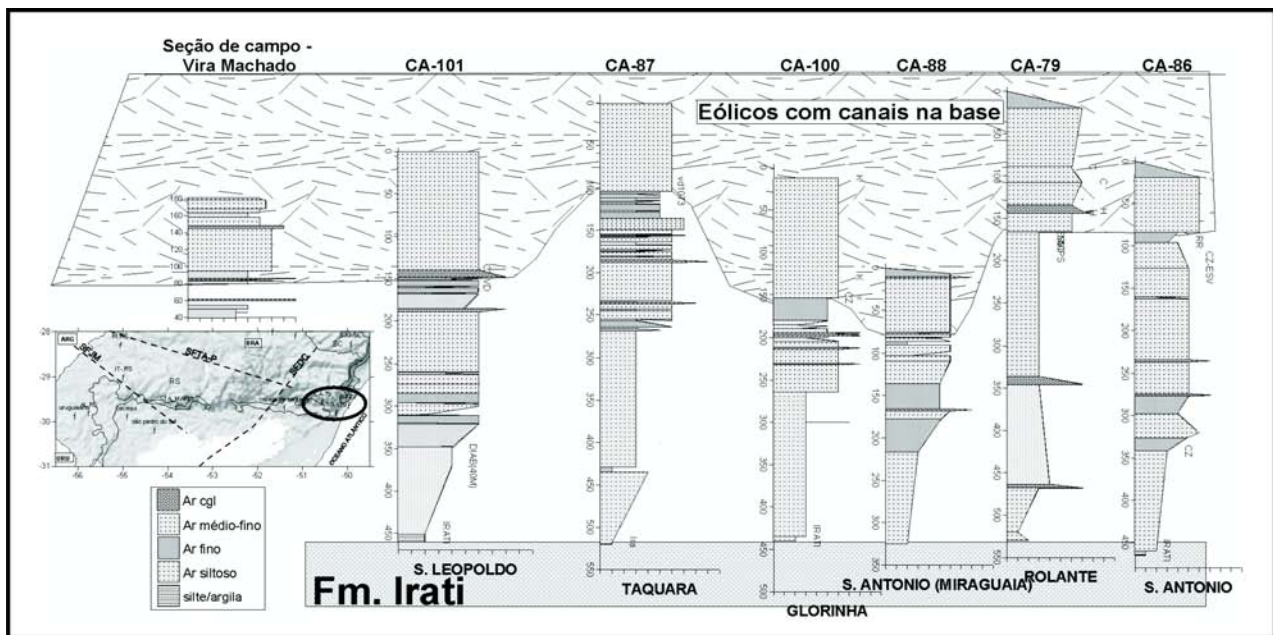


Figura 14 - Seção estratigráfica esquemática composta por poços exploratórios de carvão (fonte CPRM-RS). A seção foi alinhada no topo da Formação Irati (superfície de inundação correlacionável regionalmente na bacia) a fim de ilustrar o caráter irregular na base dos arenitos eólicos com canais fluviais na base da Formação Pirambóia, bloco Leste.

A relação de contato entre o pacote predominantemente eólico da Fm Pirambóia, com dunas e interdunas úmidas, e o pacote de dunas e interdunas secas da Fm Botucatu é difícil de ser identificada. Em afloramentos ocorre uma transição para arenitos eólicos com granulometria um pouco mais fina, mineralogia mais madura e *sets* de estratificações cruzadas maiores.

Em poço, o perfil Raio Gama não mostra superfícies ou quebras que possam ser identificadas entre as unidades Botucatu e Pirambóia, sendo que o desaparecimento de depósitos de interdunas úmidas, as mudanças na cor, aumento do tamanho dos *sets*, aumento da maturidade textural e mineralógica, ou ainda o aumento de estruturas de *grain flow* (Dias e Scherer 2006), indicam a passagem da Fm Pirambóia para a Fm Botucatu.

A unidade fluvial e eólica, descrita neste bloco, possui diferentes interpretações na bibliografia, sendo denominada de Fm Pirambóia e correlacionada com a unidade eólica da Fm Sanga do Cabral, nos blocos oeste e central (Lavina 1993, Scherer 1998), ou ainda interpretada como uma porção eólica diferenciada e sugerida como uma unidade independente (Nowatzi & Kern 2000). Sua correlação com a Fm Sanga do Cabral depositada no final do Permiano ou início do Triássico, implicaria que a Fm Pirambóia teria sido depositada no final do Permiano. Contrariamente, a correlação aqui proposta (Figs. 14, 15 e 16) indica que esta unidade é discordante sobre as formações Rio do Rasto e Sanga do Cabral e correlata à Formação Guará no

bloco oeste. A unidade fluvial e eólica do bloco leste descrita acima apresenta continuidade física com a unidade Pirambóia da parte sudeste e central da bacia, assim como a Fm Guará (bloco oeste) possui continuidade física com a Fm Pirambóia no interior da bacia e com a Fm Taquarembó no Uruguai, considerada de idade possivelmente Jurássica, em virtude da ocorrência de fósseis do final deste período (Perea e Martinez 2004).

Formação Botucatu

Os arenitos eólicos da Fm Botucatu, assim como as formações Guará, Caturrita e Pirambóia (blocos oeste, centro e leste, respectivamente) sotopostas, configuram depósitos essencialmente continentais, incluindo sistemas fluviais e eólicos.

A Fm Botucatu apresenta espessura bastante variada no Rio Grande do Sul, desde ausente (bloco central) até 100 m, dada uma seqüência de derrames de lava que conserva a duna previamente ativa, por vezes preservando sua morfologia (Scherer 1998, Scherer 2000, Holz *et al.* 2006), caracterizando o final da deposição da Fm Botucatu como contemporânea ao início do vulcanismo da Fm Serra Geral, em cerca de 139 Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$; Renne *et al.* 1992).

A morfologia preservada é tanto a deposicional como a de deflação, que ocorre acima do nível freático, sendo a ausência da Fm Botucatu interpretada como ausência de subsidência, enquanto as areias dunares acumuladas não são soterradas em

níveis abaixo do nível freático. Este é o caso do bloco central, onde a freqüente ausência dos depósitos eólicos pós-triássicos deve ser interpretada como área não subsidente e de cobertura vulcânica sobre uma superfície erosiva.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A discordância que separa o Mesozóico e o Paleozóico na Bacia do Paraná constitui uma superfície aplainada cortando rochas do Ordoviciano ao Permiano superior, e mesmo do embasamento Pré-Cambriano, como observado no Paraguai (Fm Misiones), na região de San Juan Batista, ou no Estado de Minas Gerais, no vale do Rio Grande. No norte da bacia, (Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul) a Fm Pirambóia assenta-se, em discordância angular de baixo ângulo, sobre siltitos de tonalidades vermelha e arroxeadas, intercalados com arenitos

muito finos, de idade Permiana, denominada Fm Estrada Nova (Corumbataí). A presença de paleossolo, com brecha de silixitos, indica que ocorreu um processo de silificação supergênica dos calcários, anterior à deposição da Fm Pirambóia. No Paraná, abaixo deste contato, é possível identificar paleossolos com marcas de raízes (Fig. 15).

Uma característica importante do topo da seqüência permiana, que possivelmente se estenda até o início do Triássico, é sua alteração supergênica intensa, com oxidação dos minerais de ferro, argilização dos feldspatos e silificação dos carbonatos, anteriormente à deposição das seqüências mesozóicas. A cor vermelha intensa das unidades como Sanga do Cabral e Rio do Rasto, na parte sul da Bacia, bem como Rio do Rasto-Estrada Nova-Corumbataí-Aquidauana (MS), na parte nordeste e oeste-noroeste, pode ser interpretada como resultado do intenso intemperismo de idade eo-triássica, associado ao paleo-clima seco e quente.

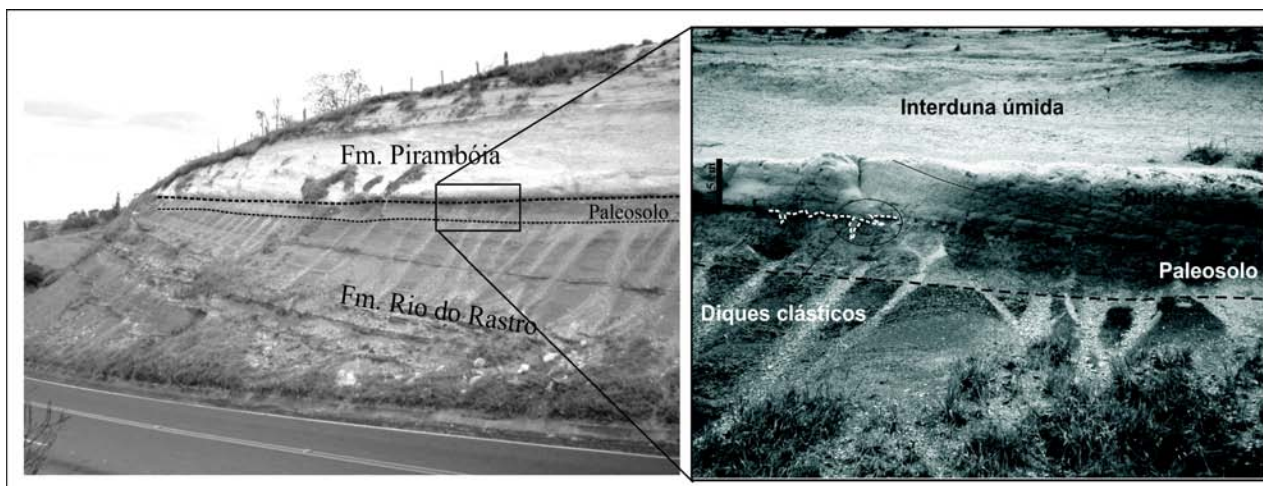


Figura 15 - Exemplo de contato entre as Formações Pirambóia (arenito branco, fácies de duna e interduna úmida) e Rio do Rasto (pelito roxo e arenito intercalado com arenito - planície de inundação) - estado do Paraná. Notar discordância angular reforçada por linhas tracejadas, paleosolo e marcas de raiz na foto de detalhe.

Os arenitos eólicos permianos da Fm Sanga do Cabral apresentam características epigenéticas de forma similar aos arenitos eólicos da Fm Rio do Rasto em Santa Catarina (Serra do Espigão, Fig. 19), representando eventos de maior aridez na bacia. Esta aridez foi reduzida durante o ciclo fluvial da Fm. Sanga do Cabral e durante o processo de exposição e erosão que se seguiu.

A retomada da sedimentação no novo ciclo geotectônico que se iniciou no Meso-Triássico, fez-se apenas localmente, em riftes, e sob condições climáticas diferentes, sendo mais úmidas e frias, no sistema fluvial Passo das Tropas, com sedimentos acinzentados, indicando fonte com solos feldspáticos e não argilizados.

O afogamento deste sítio deposicional, com

a deposição dos pelitos do Membro Alemoa, ocorreu em condições climáticas áridas, com enriquecimento dos sedimentos em carbonato de cálcio e formação de abundantes paleossolos com caliche, facilitando a fossilização. Estes pântanos e lagos rasos, de clima árido, foram progressivamente assoreados por rios anastomosados da Fm Caturrita até o início do Jurássico.

Após o preenchimento do rifte de Santa Maria e, possivelmente, do Uruguai-Alegrete-Itacurubi, a oeste, inicia-se a sedimentação fluvio-eólica, progressivamente mais árida, com formação dos campos de dunas da unidade Guará e Pirambóia, localmente entremeados de sistemas fluviais entrelaçados, em discordância com os depósitos sotopostos.

As seções levantadas e mapeamentos pré-territos nas unidades do Permo-Triássico e Juro-Cretácicas, no sul da Bacia do Paraná, não permitem correlações diretas entre os setores oeste, central e leste. As idades de início e fim de deposição não são claras, sendo possível identificar as discordâncias e correlacioná-las às unidades sotopostas e sobrepostas. Esta ausência de correlação registra uma atividade tectônica diferenciada durante o Triássico-Jurássico, caracterizando os três blocos como entida-des estruturais.

No bloco leste, a seção é comparável à dos poços no sudeste da bacia (Fig. 16), sendo as unidades correspondentes às formações Pirambóia e Botucatu, em Santa Catarina, diferenciadas pela granulometria e cor, mas com relação de contato transicional nos municípios de São Joaquim e Lages, em Santa Catarina.

A Fm Pirambóia ocorre, tanto no bloco leste no RS como no norte da bacia, logo abaixo da Fm Botucatu, tal como observado nos poços de Torres

(RS), em afloramentos na região de São Joaquim e Lages, e nos estados do Paraná e São Paulo, mostrando relações de contato discordante entre a seqüência de arenitos eólicos Pirambóia-Botucatu e a Fm Rio do Rasto, presença de fendas de contração e contato transicional entre as duas unidades eólicas (Fig. 17).

Dessa forma, considera-se o pacote de arenitos de sistema eólico úmido do bloco leste, mapeados como Fm Pirambóia (Faccini, 2000; Scherer & Lavina 2006), como sendo a mesma unidade Pirambóia (também de sistema eólico úmido), que se associa com a Fm Botucatu, em discordância sobre o Permiano e unidades anteriores, na maior parte da bacia.

A ausência de registro do sistema fluvial entrelaçado da Fm Sanga do Cabral no bloco leste corrobora com a interpretação de não correlação do registro desértico úmido presente neste bloco com aquele do Permiano (Fig. 18).

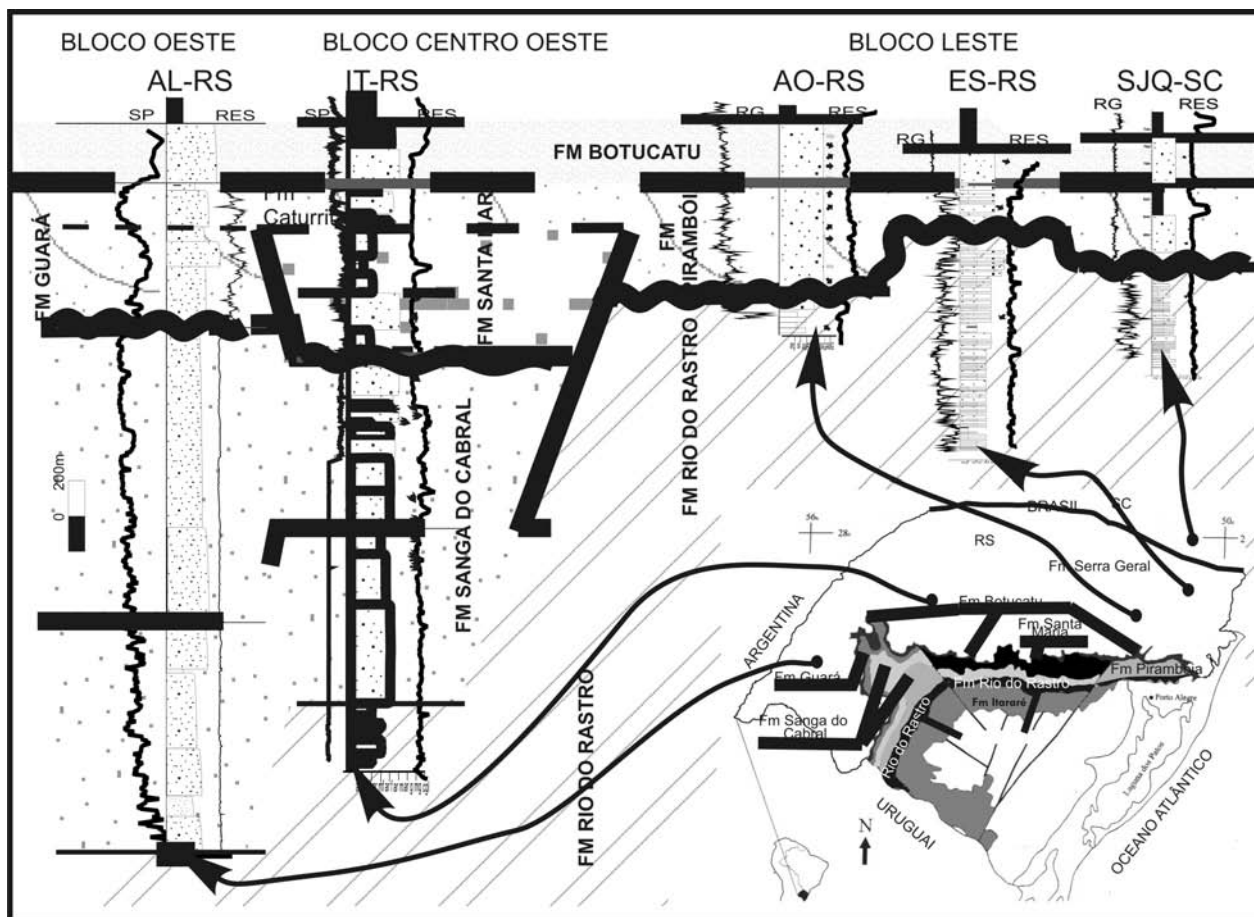


Figura 16 - Correlação em subsuperfície das unidades Neopermiana - Mesozóicas. As formações Guará (Bloco E), Caturrita (Bloco Cento-oestel) e Pirambóia (Bloco oeste) estendem-se de forma contínua, sotopostas à Formação Botucatu, em continuidade física com a Formação Pirambóia em Santa Catarina. Mapa geológico RS - Modificado de Scherer, 2000.

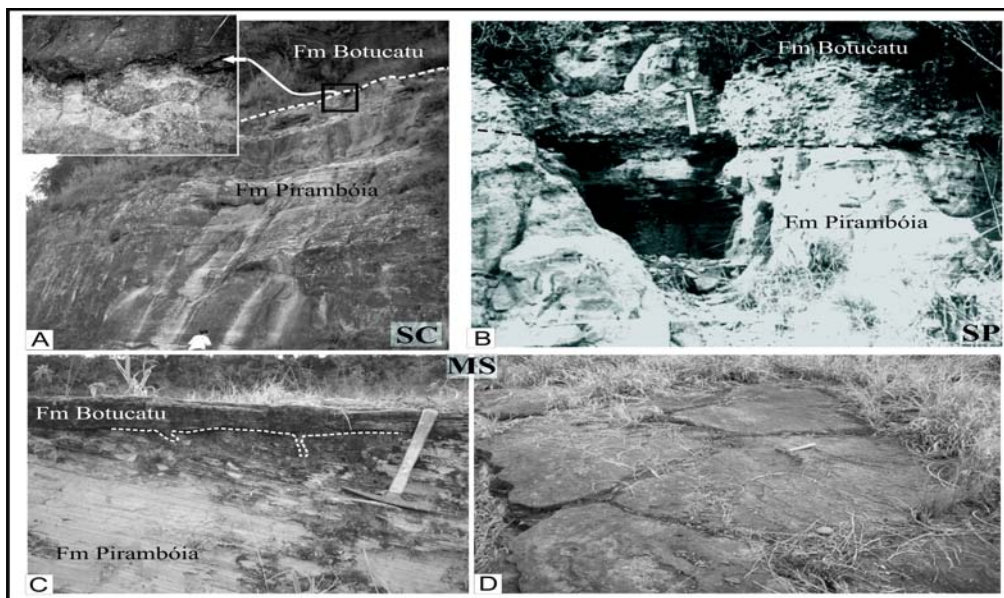


Figura 17 - Fotografias de afloramentos do contato entre as Formações Pirambóia e Botucatu nos estados de Paraná (a), São Paulo (b) e Mato Grosso do Sul (c). Em (a) o contato é evidenciado pela diferença granulométrica (ver detalhe). Na foto (b) o contato é erosivo, dado com a fácies fluvial (arenito maciço, porção inferior do afloramento) da Formação Pirambóia com a fácies conglomerática torrencial (porção superior do afloramento) da base da Formação Botucatu. Nas fotos (c) e (d) o contato se dá por fraturas poligonais, ou “fentes em coin”, mostrados em perfil e planta.

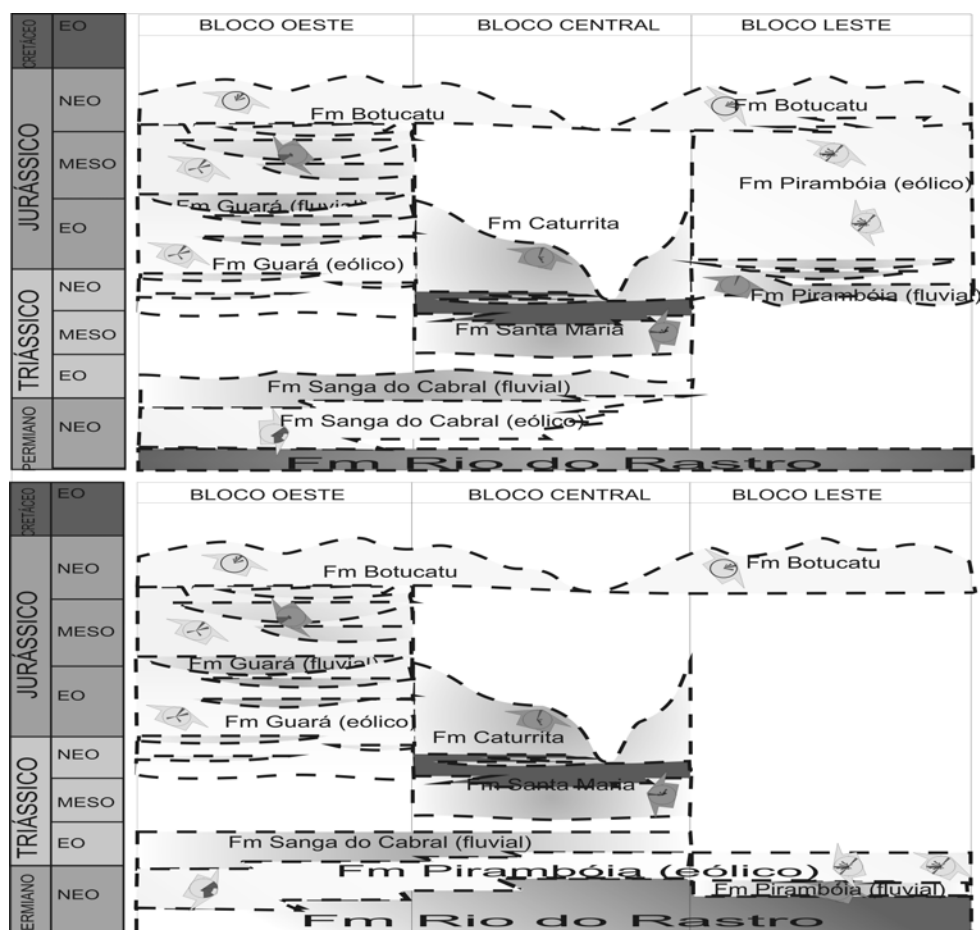


Figura 18 - Diagrama cronoestratigráfico esquemático da interpretação dada ao intervalo Permo-Triássico nos blocos oeste, central e leste, sul da bacia do Paraná, comparando duas propostas: (A) apresentada neste trabalho, onde a Formação Pirambóia é correlata à Formação Guarani, com contato gradacional e/ou pequeno hiato deposicional com a Formação Botucatu. (B) apresentada por diversos autores (Milani et al 1997, Machado 2006, Scherer e Lavina 2006), onde a Formação Pirambóia é considerada como depósito permiano, interdigitada com Formação Rio do Rastro e com grande discordância com a Formação Botucatu. Setas indicam direção de paleocorrente e linhas tracejadas indicam contatos (faciológicos e temporais) inferidos.

A ocorrência de arenitos eólicos intercalados na seção permiana nos blocos central e oeste equivale às intercalações de fácies dunares nos depósitos fluviais da Fm Rio do Rasto na serra do Espigão, em Santa Catarina (Fig. 19).



Figura 19 - Arenitos avermelhados com estratificação cruzada de grande porte, fácies de duna em sistema eólico, topo da Formação Rio do Rasto. Serra do Espigão, estado de Santa Catarina.

No bloco oeste, a Fm Guará é correlacionada com a unidade inferior da Fm Taquarembó (Jurássico) no Uruguai, as quais apresentam fósseis do final do Jurássico, na transição para Fm Botucatu (Perea e Martinez, 2004). Estes são discordantes

com as unidades, sotopostas, Sanga do Cabral e Buena Vista, e concordantes ou com pequena disconformidade com a Fm Botucatu, sobreposta.

Os depósitos fluviais com variações laterais para eólicos da Fm Guará representam um tempo e um paleoambiente equivalente ao da Fm Pirambóia do Estado de São Paulo, incluindo os fósseis de ostracodes e conchostráceos (facies Santana, de Almeida, 1950) e são estratigraficamente comparáveis em suas relações de contato.

No bloco Central, a sedimentação e preservação das formações Santa Maria e Caturrita, a não sedimentação ou não preservação das formações Pirambóia e Botucatu, revelam uma atividade tectônica diferenciada como já destacado por Machado (2006). Seria esperada uma relação lateral entre a Fm Caturrita e as formações Guará e Pirambóia, em função das condições paleoambientais de deposição. Entretanto, as informações paleontológicas, até agora conhecidas e já referidas, não favorecem uma contemporaneidade. Os elementos de relação de contato levam à interpretação de que estas unidades possuem justaposição física com os depósitos eólicos da Fm Pirambóia no restante bacia (Fig. 20).

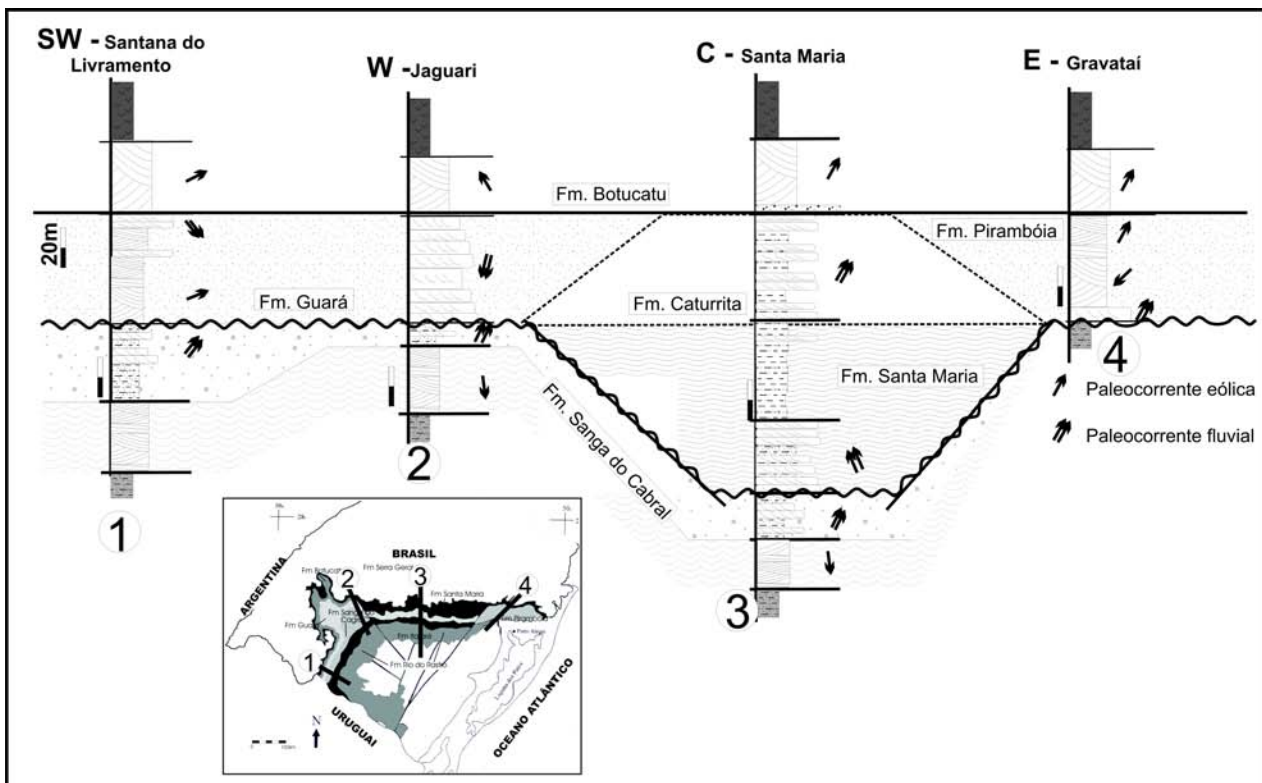


Figura 20 - Seção geológica esquemática, formada por seções colunares compostas com base em diversos autores (Scherer e Lavina 1997, Montardo 1982, Faccini 2000), dados de afloramento e poços. Relações espaciais entre as diferentes fácies e diferentes blocos. A relação de contato geológico entre a Formação Caturrita e Formações Pirambóia e Guará não foi observada em campo e nesta seção é sugerida apenas sua relação espacial.

Estas correlações implicam na extensão e conectividade destes depósitos areníticos continentais, sotopostos a Fm Botucatu, formando o aquífero Guarani. Os depósitos eólicos do Permiano ou porção inferior da Fm Sanga do Cabral, não são correlatos àqueles arenitos eólicos úmidos do bloco leste (Fm Pirambóia), não pertencendo ao Sistema Aquífero Guarani. A Fm Pirambóia está fisicamente separada pelos depósitos fluviais da porção superior da Fm Sanga do Cabral, sendo considerada um aquífero e não correlacionada fisicamente às unidades hidrostratigráficas que compõe a parte basal do aquífero: formações Guará, Santa Maria, Caturrita e Pirambóia (Soares *et al.* 2007).

CONCLUSÃO

No Neo-Permiano deu-se o início da mudança climática na Bacia do Paraná, associada com a fase inicial da orogenia Gondwânica (Gondwanides). Dunas isoladas desenvolveram-se em ambiente semi-árido, adjacentes aos rios, deltas e planícies aluviais (Fm Rio do Rasto). O evento orogênico gerou uma deformação sin-sedimentar na bacia, cujas estruturas tectônicas são evidentes em afloramento.

A discordância permo-triássica marca um ciclo de erosão que remove irregularmente as camadas deformadas do Permiano, deixando o registro de um espesso manto de lateritização incompleta e paleorigolitos, que se estendem até o norte da bacia, refletindo o clima quente e árido durante o soerguimento.

No Meso-Triássico começa o fraturamento no interior da bacia, registrado no bloco central do Rio Grande Sul, Uruguai e, possivelmente, no bloco central da Bacia de Paraná. As pequenas sub-bacias são preenchidas por depósitos fluviais, carregando a rica paleofauna vertebrada de idade Neo-Triássico (Fm Santa Maria).

Durante esse intervalo de tempo, o sistema desértico foi estendido progressivamente ao continente inteiro e, na Bacia do Paraná, fica registrado na Fm Pirambóia e unidades correlatas, formadas por depósitos de dunas com interduna úmida e de rios intermitentes, com o soerguimento da área fonte a leste, e engrossamento dos sedimentos no topo.

Após o Meso-Jurássico, uma deflação generalizada é marcada através do pavimento conglomerático e pela mudança das correntes do vento. Em um deserto de regime super-árido, areias supermaturas ficaram preservadas em extensos campos de dunas e *ergs*, registrados pela Fm Botucatu, estendidas por toda a bacia e preservadas por sucessivos

derrames de lava da Fm Serra Geral.

No sul da Bacia do Paraná, os depósitos triássico-jurássicos eólicos e fluviais apresentam diferentes arranjos estratigráficos nos blocos oeste, central e leste. No bloco leste os arenitos eólicos, chamados de Fm Pirambóia, não se correlacionam com os arenitos eólicos da base da Fm Sanga do Cabral que ocorrem nos blocos central e oeste, sendo discordantes à Fm Rio do Rasto. A Fm Sanga do Cabral não está presente, por erosão, neste bloco leste. Os arenitos eólicos e fluviais desta unidade desaparecem para leste e para o interior da bacia, espessando-se para oeste.

No bloco central, a unidade Caturrita, com depósitos fluviais sotopostos à Fm Botucatu, encontra-se em posição física equivalente às formações Guará (oeste) e Pirambóia (leste), porém portando conteúdo fóssil de idades diferentes.

A conclusão deste trabalho é que as formações Pirambóia e Guará são a mesma unidade genética, com idade entre o Neo-Triássico e Meso-Jurássico, sendo ambas correlacionáveis com a Fm Pirambóia do norte da bacia, podendo comportar pequenos hiatos ou discordância com a formação Botucatu, mas com persistência das principais condições do ambiente.

Desta forma, as formações Guará e Pirambóia são correlacionáveis, enquanto as fácies eólicas neopermianas não são correlacionáveis à Fm Pirambóia. Isso implica que os arenitos permianos da base da Fm Sanga do Cabral não apresentam interdigitação com o Sistema Aquífero e desta forma não constituem unidades hidrostratigráficas conectadas às formações Pirambóia e Botucatu no centro e norte da bacia.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F.F.M. 1950. Uma faunula de crustáceos bivalvos do Arenito Botucatu no Estado de São Paulo. **Boletim do Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia**, 134: 1-36.
- Andreis, R.R.; Lavina, E.L.; Montardo, D.K. & Teixeira, A.M.S. 1982. Considerações sobre os troncos fósseis da Formação Caturrita (Triássico Superior) no município de Mata, RS- Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., Salvador (BA), **Anais...**Salvador, SBG v.4, p. 1284-1295.
- Andreis, R.R.; BOSSI, G.E. & Montardo, D.K. 1980. O grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú (SC), **Anais...**Camboriú, SBG, v.2, p.659-673.
- Barberena, M.C.; Araujo, D.C.; Lavina, E.L. & Azevedo, S.A.K. 1985. O estado atual do conhecimento sobre os tetrápodes permianos e triássicos do Brasil Meridional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 8., 1985, Rio de Janeiro, **Coletânea de trabalhos Paleontológicos...**Brasília,

- DNPM. v. 27, p. 21-28.
- Bortoluzzi, C.A. 1974. Contribuição a geologia da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, 4 (1), p.7-86.
- Campy, M. & Macaire, J.J. 1989. **Geologie des formations superficielles**. Paris, Masson, 433p.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2005. **Sistema de Informação de Águas Subterrâneas. Agência Brasileira de Cooperação - Agência Canadense de Desenvolvimento Internacional**. Informações disponíveis no endereço: <<http://www.singas.cprm.gov.br>>. Acesso em: 15 jan. 2005.
- De Santa Ana, H. & Veroslavsky, G. 2003. La tectosecuencia volcanosedimentaria de la Cuenca Norte (edad Jurásico - Cretácico Temprano). In: Veroslavsky, G.; Ubilla, M & Martinez, S. (eds.). **Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales- mesozoico**. Montevideo, DIRAC. p. 51-74.
- Dias, K. & Scherer, C. 2008. Cross-bedding set thickness and stratigraphic evolution of wet aeolian systems: an example from the upper Permian Pirambóia Formation (Paraná basin). **Journal of South American Earth Sciences**, 25 (3): 405-415.
- Faccini, U.F. 1989. **O permo-triássico do Rio Grande do Sul: uma análise sob o ponto de vista das seqüências deposicionais**. Porto Alegre. 121p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Faccini, U.F.; Paim, P.S.G.; Lavina, E.L. & Garcia, A.J.V. 2000. Geometry, architecture and heterogeneity of the Passo das Trapas aquifer: 3D reconstruction from out crop and shallow subsurface data. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Abstracts...**Rio de Janeiro, IGC. 1 CD-ROM.
- Faccini, U.F. 2000. **Estratigrafia do permo-triássico do Rio Grande do Sul: estilos deposicionais versus espaço de acomodação**. Porto Alegre. 300p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Fernandes, L.A.D.; Koester, E. & Soliani Junior, E. 1995. Evolução do sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes Dorsal de Canguçu no Cinturão Dom Feliciano durante o Neoproterozóico: uma discussão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5., Gramado, RS. **Boletim de resumos expandidos...**Gramado, RS. v.5. p. 30-32.
- Gammerman, N. 1973. Formação Rosário do Sul. **Pesquisas**, 2:5-36.
- GEF. BANCO MUNDIAL. OEA. **Projeto de Proteção Ambiental e Gerenciamento Sustentável Integrado do Sistema Aquífero Guarani: Argentina - Brasil - Paraguai - Uruguai**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/guarani/projeto/memorias/memoriafedrais.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2005.
- Gordon Junior, M. 1947. Classification of the Gondwanic rocks of Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro. **Boletim do Departamento Nacional de Pesquisa Mineral, Divisão Geologia e Minerais**, 38:1-20.
- Gradstein, F.M. & Ogg, J.G. 2004. **Geologic Time Scale 2004 - why, how, and where next!** Disponível em: <www.stratigraphy.org/scale04.pdf>. Acesso em: 15 set. 2008.
- Holz, M. & Scherer C.M.S. 1998. Sedimentological and paleontological evidence of paleoclimatic change during the Southbrazilian Triassic: the register of a global trend towards a humid paleoclimate. **Zentralblatt für Geologie und Palaeontologie**, 7- 8 (1): 1589-1611.
- Holz M.; Soares A. P. & Soares P.C. 2008 Preservation of aeolian dunes by pahoehoe lava: an example of Botucatu Formation (Jurassic) in Mato Grosso do Sul state, western margin of the Paraná Basin in South America. **Journal of South American Earth Sciences**, 25 (3): 398-404.
- Lavina E.L. & Scherer 1997. Formações Pirambóia e Sanga do Cabral: um episódio de desertificação na Bacia do Paraná ao final do Permiano? In: SIMPÓSIO DE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1., 1997, Rio de Janeiro. **Boletim de Resumos Expandidos...**Rio de Janeiro. p. 94-95.
- Lavina, E.L.C.; Faccini, U.F. & Ribeiro, H.J.S. 1993. A Formação Pirambóia (Permo-Triássico) no Estado do Rio Grande do Sul. **Acta Geológica Leopoldensia**, 38 (1): 179-197.
- Lavina, E.L. 1993. *Procolophon pricei sp.n.* um novo réptil procolofonídeo do Triássico do Rio Grande do Sul. **Iheringia**, 9: 51-78.
- Lavina, E.L. 1989. Formação Pirambóia: um episódio de desertificação da bacia do Paraná ao Final do Permiano? In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1., 1989, Rio de Janeiro. **Boletim de resumos...**Rio de Janeiro, SBG. p. 8.
- Lavina, E.L. 1992. **Geologia sedimentar e paleogeografia do neopermiano e eotriássico (Intervalo Kazaniano-Scitiano) da Bacia do Paraná**. Porto Alegre, 512p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Machado, J.L.F. 2006. **Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. São Leopoldo-RS. 237p. Tese de Doutorado em Geologia, Universidade do Vale dos Sinos.
- Milani, E.J.; Faccini U.F.; Scherer, C.M., Araujo, L.M. & Cupertino, J.A., 1998. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. **Boletim IG-USP: série científica**, 29:125-173.
- Milani, E.J. 1992. Intraplate tectonics and the evolution of the Paraná basin, SE Brazil. In: De Wit, M.J. & Ransome, I.G.D. (eds.). **Inversion tectonics of the Cape fold belt, Karroo and Cretaceous basins of southern Africa**. Rotterdam, A.A. Balkema. p. 101-108.
- Mones, A. & Figueira, A. 1980. A geo-paleontological synthesis of the Gondwana Formations of Uruguay. In: CRESWELL, M.M. & VIELLA, P. (eds.). **Gondwana**. Rotterdam, A.A. Balkema. p.47-52.
- Montardo, D.K. 1982. **Estudo geológico dos sedimentos do Gondwana Superior na Região de Candelária a Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. 141p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Nowatzi, C.H. & Kern, H.P. 2000. The folianites between Sanga do Cabral and Botucatu Formations in Rio Grande do Sul state, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 72 (2): 247-256.
- Perea, D. & Martinez, S. 2004. La Formacion Taquarembó: su fauna y su edad Jurássico Tardío - Cretácico Temprano. In: Veroslavsky G.; Ubilla, M. & Martinez, S. (eds.). **Cuencas Sedimentarias de Uruguay: geologia, paleontologia y recursos naturales - mesozoico**. Montevideo, DIRAC. p. 101-113.
- Renne, P.R.; Ernesto, M.; Pacca, I.G.; Coe, R.S.; Glen, M.J.; Prévat, M. & Perrin, M. 1992. The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. **Science**, 258: 975-979.
- Sanford, R.M. & Lange, F.N. 1960. Basin study approach oil evaluation of Parana miogeosyncline of South Brazil. **American Association of Petroleum Geologist, Bulletin**, 44 (8): 1316.
- Scherer, C.M.S. 1998. **Análise estratigráfica e litológica da**

- Formação Botucatu (Eocretáceo da Bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre. 230p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Scherer, C.M.S. 2000. Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin. **Sedimentary Geology**, **137** (3/4): 63-84.
- Scherer, C.S. 2002. Preservation of aeolian genetic units by lava flows in the lower Cretaceous of the Paraná Basin, southern Brazil. **Sedimentology**, **49**: 97-116.
- Scherer, C.M.S. & Lavina, E.L.C. 2005. Sedimentary cycles and facies architecture of aeolian-fluvial strata of the Upper Jurassic Guarú Formation, Southern Brazil. **Sedimentology**, **52**: 1323-1341.
- Scherer, C.M.S., Lavina, E.L.C. 2006. Stratigraphic evolution of a fluvial-eolian succession: The example of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Guarú and Botucatu formations, Paraná Basin, Southernmost Brazil. **Gondwana Research**, **9**: 475-484.
- Schultz, C.L.; Scherer, C.M.S. & Barberena, M.C. 2000. Biostratigraphy of southern Brazilian middle-upper triassic. **Revista Brasileira de Geociências**, **30** (3): 495-498.
- Schultz, C.L. 1995. Subdivisão do Triássico do RS com base em microfósseis: problemas e perspectivas. **Comunicações do Museu de Ciência e Tecnologia**, **1**: 43-50.
- Soares, A.P.; Soares, P.C. & Holz, M. 2008. Heterogeneidades hidroestratigráficas no sistema Aquífero Guarani. **Revista Brasileira de Geociências**, **38** (4): 600-619.
- Soares, P.C. 1975. Divisão Estratigráfica do Mesozóico no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, **5** (4): 251.
- Soares, P.C. 1981. Estratigrafia das formações jurássico-cretácicas na Bacia do Paraná - Brasil. In: Volkheimer, W. & Musacchio, E.A. (eds.). **Cuencas sedimentarias del jurássico y cretácico de America del Sur**. Buenos Aires, Comité Sudamericano del Jurássico y Cretácico. p. 271-302.
- Vieira, A.J. 1973. Geologia do centro e nordeste do Paraná e centro sul de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., Aracaju, 1973. **Anais...Aracaju, SBG**. v. 3, p.259-277.
- Washburne, C.W. 1930. Petroleum geology of the state of São Paulo. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, **22**: 282.
- Zerfass H. 1998. **Estratigrafia da sedimentação meso e neotriássica no Município de São Pedro do Sul, RS: facilogia, análise de proveniência e história diagenética**. 181p. Monografia de Graduação de Geologia, Universidade do Vale dos Sinos.
- Zerfass, H.; Chemale Junior, F.; Schultz, C.L. & Lavina, E. 2004. Tectonics and sedimentation in Southern South America during Triassic. **Sedimentary Geology**, **166**: 265-292.

Editor responsável pelo artigo: **Ana M. P. Mizusaki**