

Formação da sequência triássico-jurássica na Bacia do Paraná

Triassic-Jurassic sequence formation in the Paraná Basin

Paulo Cesar Soares | Ana Paula Soares | Daniel Fabian Bettú

resumo

São analisados os registros estratigráficos e estruturais do Triássico e Jurássico na Bacia do Paraná, com base em revisão da literatura, trabalhos de campo, investigação de perfis de poços, lineamentos e seções sísmicas, na busca de sinais de movimentos tectônicos contemporâneos. A sequência cratônica do Triássico-Jurássico (STrJ) se iniciou em bacia interior, contemporaneamente à ruptura do Pangea e se estendeu até a ruptura do Gondwana. Uma nova correlação para a STrJ, considerando o registro de bacias vizinhas, é consolidada e inclui as formações Santa Maria, Piramboia, Botucatu e homólogas. A STrJ sobrepõe-se a uma discordância que envolve diferentes unidades, do embasamento pré-cambriano às rochas do Permiano e do início do Triássico. A unidade mais nova pré-discordância é a Formação Sanga do Cabral, do Induano, uma extensão da sequência do Pennsylvaniano-Permiana; a STrJ foi totalmente coberta pela pilha vulcânica associada à ruptura do Gondwana ocidental no Cretáceo. Em torno do limite permotriássico, movimentos tectônicos resultaram em deformação compressiva que afetou até o Induano. Ocorreu, então, soerguimento generalizado durante o resto do Eotriássico, com forte

laterização das rochas. Em meados do Triássico, a tectônica extensional gerou espaço de alojamento para a Formação Santa Maria (230-206 Ma) com registro fossilífero do Triássico Médio. Próximo do limite Triássico-Jurássico, houve soerguimento flexural com pequenas falhas e suave adernamento para a calha central e norte da bacia, preservando um gráben com a parte inicial da STrJ. Fora da bacia houve fortes eventos de vulcanismo continental (195-205 Ma), seguidos por erosão e laterização moderada. O ambiente desértico, caracterizado por depósitos fluviais e eólicos, instalou-se extensivamente, com registros mais jovens indicando maiores aridez climática, inclinação regional e energia de transporte, alcançando seu final no Mesojurássico. Amplos e gigantes campos de dunas e *ergs* foram progressiva e inteiramente cobertos por lava vulcânica, em breve intervalo de tempo (140 Ma). A tectônica extensional, durante a ruptura e magmatismo continental (140-130 Ma), gerou as estruturas mais evidentes que deformaram a bacia. Embora aparente uniformidade deposicional, a STrJ é complexa e heterogênea, com variações importantes de espessuras e comportamento genético.

Palavras-chave: bacia cratônica | sequência mesozoica | paleotectônica | história geológica do Brasil

abstract

The stratigraphic and structural records from the Triassic and Jurassic periods in the Paraná Basin are analyzed throughout literature review, field work, well logs, structural lineaments and seismic sections, searching for contemporaneous tectonic movement signals. The cratonic sequence of the Triassic and Jurassic (STrJ) periods was begun in an interior basin at the time of the Pangea breakup and continued until the Gondwana breakup. A new correlation for the STrJ, including the registration of neighboring basins, is consolidated and includes the Santa Maria, Piramboia, Botucatu and homologues, formations. The STrJ overlies an unconformity cutting different units, from the Precambrian basement up to rocks of Permian or early Triassic ages. The youngest pre-unconformity formation is the Sanga do Cabral formation of Induan age, and is an extension of the Pennsylvanian-Permian sequence; the STrJ was completely covered by a volcanic pile associated to the western Gondwana breakup during the Early Cretaceous. The preceding late Permian-early Triassic tectonic movements resulted in compressive deformations lasting up to the Induan. Then, there was a generalized uplift in the remainder of the early Triassic period, with strong lateritization of

the exposed rocks. In the Mid-Triassic, extensional tectonics generated the accommodation space for the Santa Maria Formation (230-206 Ma) with fossil record of the Mid-Triassic period. Around the Triassic-Jurassic boundary there was extensive flexural uplift, gentle faulting and tilting towards the central trough and north of the basin, preserving a graben with the initial part of the STrJ. Continental volcanism (190-205 Ma) occurred outside the basin limits followed by moderate erosion and lateritization. The desert environment, characterized by fluvial and eolian deposits was installed extensively. Successive eolian deposits indicates progressive climatic aridity, basin margin uplift and increasing transport energy up to the end of the mid Jurassic era. Broad and gigantic dune fields and ergs were progressively and entirely covered by volcanic lava within a short period of time. Extensional tectonics prevailed during the continental breakup and magmatism (140-130 Ma) and generated the more visible structures that deformed the basin. Behind the apparent depositional uniformity, the STrJ sequence is complex and heterogeneous, with important variations in thickness and genetic behavior.

Keywords: *cratonic basin | mesozoic sequence | paleotectonics | Brazilian geological history*

introdução

Durante o Mesozoico, a região sul ocidental do Gondwana, onde se encontrava a Bacia do Paraná, foi palco ativo das mudanças paleogeográficas globais, drásticas e definitivas, que construíram e romperam o Pangea. A principal mudança foi representada pela formação de cadeias orogênicas periféricas no Permiano e o fim das sequências de transgressões e regressões marinhas típicas do Paleozoico, quando a região da bacia se abria para o Pacífico. A segunda grande mudança foi representada pela aridização continental e formação de

imensos desertos no Triássico e Jurássico. A terceira foi representada pela magnitude dos eventos de rifteamento continental e magmatismo básico em diversos pulsos, desde a primeira ruptura do Pangea, no Eotriássico, até a fragmentação completa do Gondwana no Cretáceo.

A Bacia do Paraná (fig. 1), situada um tanto distante da margem ativa, hospeda o registro geológico continental destes eventos, com maior ou menor grau de resposta e preservação dos sinais de eventos tectônicos globais (Soares *et al.*, 1978; Milani e Ramos, 1998). Sua investigação, entretanto, é dificultada pela simplicidade estrutural acrescentada da extensa cobertura vulcânica eocretácea.

Figura 1

Localização da Bacia do Paraná: (A) Localização paleogeográfica no início do Mesotriássico, indicando as paleolatitudes. (B) Localização paleotectônica, no Mesotriássico, indicando a zona de rifteamento regional na faixa de colisão de terrenos paleozoicos no limite permotriássico (Ramos, 1999), incluindo o rifte de Santa Maria. (C) Geologia da Bacia do Paraná com a distribuição das diferentes sequências tectono-sedimentares (Soares, 1992), com destaque para o limite atual da ocorrência da STRJ: 1 – Embasamento pré-cambriano; 2 – Ordovício-Siluriano; 3 – Devoniano; 4 – Carbonífero-Permiano; 5 – Triássico-Jurássico; 6 – Vulcânicas do Eocretáceo; 7 – Neocretáceo; 8 – Cenozoico.

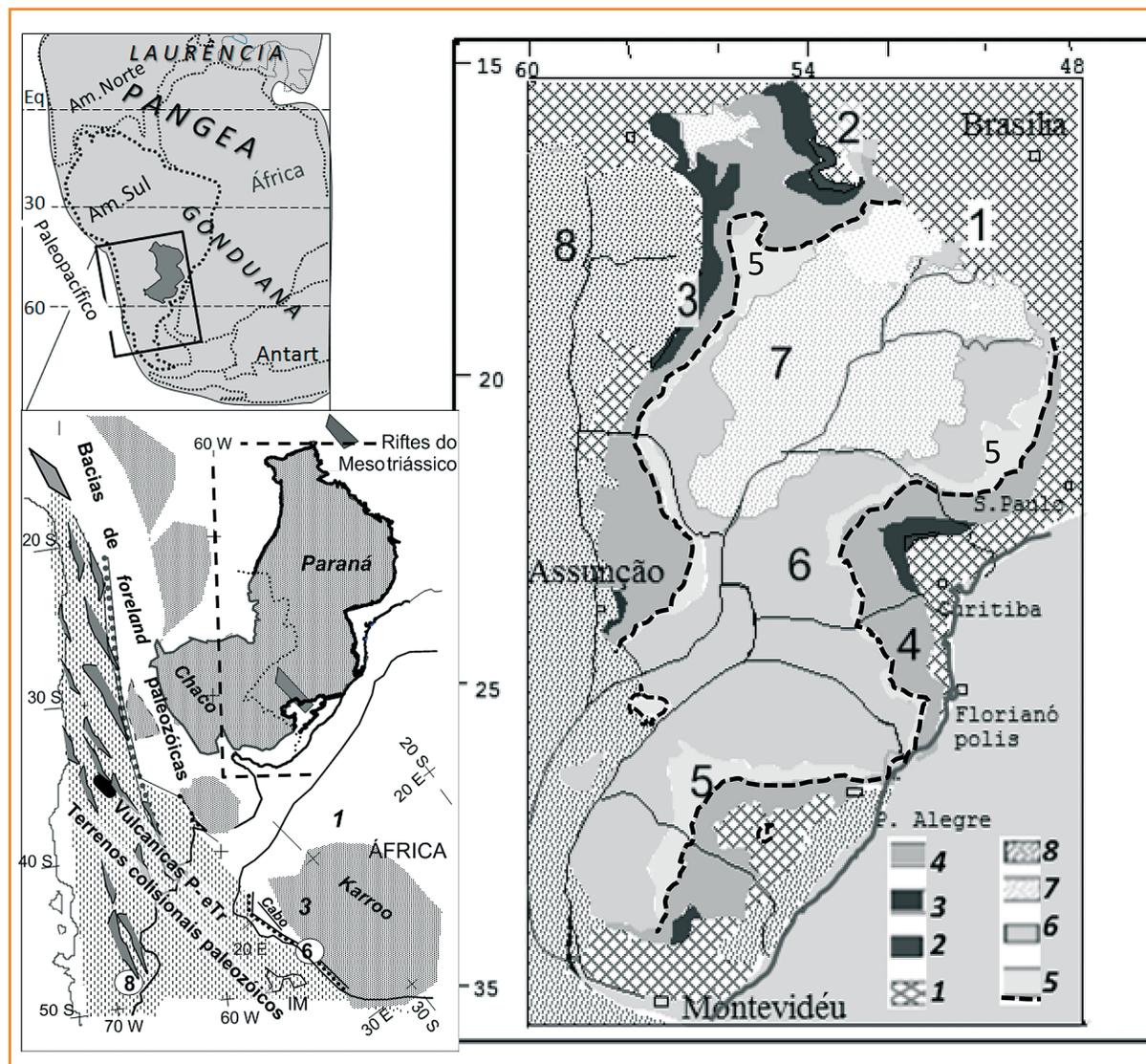


Figure 1

Paraná Basin Location: (A) Paleogeography during the early Meso-Triassic, with paleo altitude indicated (B) Paleo tectonic location, Meso-Triassic, indicating regional rift zone in the collisional belt of Paleozoic lands, on the Permian-Triassic limit (Ramos, 1999), including the Santa Maria rift. (C) Paraná Basin geology showing different tectonic-sequence distributions (Soares, 1992), with emphasis to the present limits of the STRJ occurrence: 1- Pre-Cambrian basement; 2 - Ordovician-Silurian; 3 - Devonian; 4 - Carboniferous-Permian; 5 - Triassic-Jurassic; 6 - Early-Cretaceous Volcanics; 7 - Neo-Cretaceous; 8 - Cenozoic.

Regionalmente, diversos trabalhos contribuíram para a compreensão do arcabouço regional da sequência cratônica do Triássico-Jurássico (STrJ), abrangendo o reconhecimento de diferentes fácies (Almeida, 1954; Faccini *et al.*, 1998; Scherer *et al.*, 2000; Soares, 1973), de direções de paleoventos (Bigarella e Salamuni, 1961; Assine, 1993; Gianini *et al.*, 2004; Scherer e Goldberg, 2007), de diferentes unidades estratigráficas (Gamermann, 1973; Bortoluzzi, 1974; Soares, 1975, 1992; Scherer *et al.*, 2000; Zeffass, 2003; Zeffass *et al.*, 2003), da organização estrutural (Soares, 1974; Soares *et al.*, 2007a), da evolução diagenética (Caetano-Chang e Gimenes, 1998; Zeffass *et al.*, 2000; França *et al.*, 1999), até a interpretação do significado tectônico (Zeffass *et al.*, 2005).

Os depósitos fluviais e eólicos desta sequência mesotriássico-jurássica apresentam uma divisão estratigráfico-estrutural bastante distinta das sequências mais antigas, especialmente pela ausência de depósitos marinhos e de horizontes fossilíferos regionais. Seus arenitos predominantemente eólicos estendem-se por mais de 1 milhão de quilômetros quadrados, alcançam espessuras próximas de 600m, dentro de um embaciamento estrutural assimétrico, com distanciamento em relação à atual linha de costa. Sua origem está associada à sua posição geográfica e à ruptura do Pangea. São recobertos por até quase 2km de lavas basálticas e afetados por uma tectônica severa, em termos cratônicos, associada à ruptura do Gondwana.

Na parte inferior da STrJ, do Meso- e Neotriássico, ocorre um trato de sistemas com depósitos fluviais, preenchendo pequenos grábens, preservados em extensão restrita na parte central do Rio Grande do Sul, com diversidade de fácies e fósseis. É representado pela Formação Santa Maria, incluindo o Membro Caturrita, com correlação intercontinental dada por seu conteúdo fossilífero.

Sobrepõem-se depósitos arenosos com leitos conglomeráticos e argilosos, predominantemente formados por fácies de dunas e de interdunas úmidas, que se estendem de forma quase contínua por toda a bacia. Trata-se da Formação Piramboia, sotoposta à Formação Botucatu, ambas bem definidas no estado de São Paulo. Estendem-se desde o Mato Grosso até o leste e oeste do Rio Grande do Sul e Uruguai, aí com as designações de formações Guará e Batovi. Estão significativamente ausentes na parte central do Rio Grande do Sul. A

Formação Piramboia sobrepõe-se extensivamente em discordância erosiva, levemente angular, sobre a Formação Rio do Rasto e unidades inferiores. Entretanto, no Rio Grande do Sul, entre as formações Rio do Rasto e Sanga do Cabral, ocorre um pacote de arenitos dunares, que foram considerados equivalentes à Formação Piramboia, razão pela qual esta unidade passou a ser tida como permiana. Tais arenitos eólicos avermelhados e mesmo arroxeados são encontrados nas formações Rio do Rasto (SC), Sanga do Cabral (RS) e Bela Vista (UY), às vezes com espessuras superiores a 200m, abaixo da Formação Piramboia e com estilo de deformação compressional distinto (Soares *et al.*, 2008a).

A ocorrência, na parte norte da bacia, de registros evidentes de discordância erosiva, com leve angularidade, tais como brechas, paleossolos e marca de raízes entre as formações Piramboia e as permianas sotopostas, e seu posicionamento contínuo sob a Formação Botucatu em afloramentos e em poços no interior da bacia implicam considerável correlata à Formação Guará (Scherer e Lavina, 2005; Soares *et al.*, 2007b). Este reposicionamento estratigráfico e as relações estruturais entre as diferentes unidades trazem novas implicações na evolução tectônica da bacia neste intervalo de cerca de 100 milhões de anos (entre 245 Ma e 140 Ma), tão pobre de indicadores.

objetivo

O principal objetivo deste trabalho é a compreensão do significado da organização estratigráfica e estrutural da sequência Triássico-Jurássica (STrJ) da Bacia do Paraná, no contexto evolutivo geotectônico, em escala continental. Para isto, os diferentes elementos do registro geológico a ela associados são investigados na escala de sequência. A base de dados originais é de Soares *et al.* (2007b), que foi reexaminada tendo em vista investigações prévias e posteriores com um novo foco. Desta forma, o trabalho trata de uma revisão, com reanálise e reinterpretação de dados em sua grande maioria já publicados por diferentes autores.

métodos e meios

Diversos perfis de poços exploratórios foram revistos e comparados com seções de campo quanto à interpretação de fácies, correlação,

caracterização de topo e base das unidades, caracterização de paleossuperfícies e leitura de propriedades radioativas (raios gama), elétricas (SP e R) e estruturais (dipmeter). Seções sísmicas foram revistas em busca de estruturas no limite permo-triássico. O alvo principal nos levantamentos foi a presença de indicações de relações causais entre tectônica e sedimentação, especialmente neste limite, que pudessem esclarecer os fatores presentes na formação da bacia acumuladora dos depósitos triássicos e jurássicos.

De fato, os meios para encontrar as relações causais entre sedimentação e tectônica são diversos e antecipadamente imprevisíveis ou inusitados, de tal forma que cada sinal ou pegada no registro geológico pode ser útil para desvendar as dúvidas que emergem da observação e representação generalizada do registro de uma sequência. Estes diversos campos de observação podem ser mais facilmente integrados do ponto de vista do conceito de análise de sequências. Entretanto, esta expressão tem sido objeto de diversas concepções muitas vezes conflitantes, em escala tanto espacial e temporal como genética, refletindo claramente diferentes objetivos e métodos. O conceito de sequência utilizado aqui tem como ponto de partida conceitual a escala de sequência cratônica (Sloss, 1963) ou tectono-sedimentar (Soares *et al.*, 1978), entendida como uma associação de estratos sedimentares entre os quais não existe discordância inter-regional que os separe, na escala de cráton. Corresponde a uma sequência sedimentar de primeira ordem em escala temporal (dezenas de milhões de anos) e espacial. Como corolário, seus limites são discordâncias inter-regionais, e apenas dentro destes limites a lei de fácies de Walker (1992) se aplica.

Difere, naturalmente, dos conceitos de sequência estratigráfica (Catuneanu, 2011), definidos com base no avanço-recuo no nível do mar, como sequência deposicional (Vail *et al.*, 1977) ou genética, no sentido de Galloway (1989). Difere também dos grandes ciclos geotectônicos (Caledoniano, Herciniano e Alpino). Entretanto, alguns autores aplicaram os diferentes conceitos como homólogos, comparáveis e de mesma hierarquia, como forma de aproveitar os recursos metodológicos e analíticos de

cada um. A mesma magnitude de supersequência ou sequência deposicional ou sequência de segunda ordem já foi atribuída à sequência Pensilvaniano-Permiana (70 Ma) e à Formação Santa Maria (Milani *et al.*, 1998; Zeffass *et al.*, 2003). A Formação Santa Maria, limitada por discordâncias no topo e na base, já foi designada como uma sequência, subsequência e supersequência (Supersequência Gondwana II), utilizando-se de certa tolerância e ambiguidade conceitual. Entretanto, é um registro isolado e incompleto no cráton do Gondwana.

Em depósitos continentais, discordâncias regionais e diastemas locais são mais frequentes, e os hiatos ocupam cumulativamente um intervalo temporal maior que o tempo deposicional. Nestes casos, o atributo de extensão inter-regional (cratonwide), extensivo a outras bacias, passa a ser importante na concepção da sequência. É neste sentido que a Sequência Triássico-Jurássica é utilizada neste texto. Se na Bacia do Paraná a discordância entre o Triássico e o Jurássico, topo da Formação Santa Maria (Tr) com Botucatu (J), é notável, erosivo e possivelmente discordante, o mesmo não acontece na “vizinha” Bacia do Karoo, onde as unidades contemporâneas Molteno (n-Tr), Elliot (Tr-Jr) e Clarens (Jurássico) são contínuas (Marsicano *et al.*, 2005), satisfazendo o conceito de sequência tectono-sedimentar. No critério de sequência cratônica ou tectono-sedimentar, as formações Santa Maria, Piramboia, Guará, Taquarembó e Botucatu devem ser classificadas na mesma sequência. Neste sentido, será usado o termo sequência neste trabalho.

Dois outros conceitos são correntemente utilizados: fácies e associação de fácies, no sentido de Walker (1992): uma combinação particular de litologias que, por seus atributos, se distingue de outras vizinhas; e de Collinson (1969): grupo de fácies geneticamente relacionadas, respectivamente.

Padrões convencionais foram utilizados na correlação de perfis, especialmente o arranjo de formatos, com uso do perfil radiométrico gama, dipmeter e também resistência das rochas ao avanço na perfuração. Algumas características foram bastante diagnósticas (tabela 1), embora poucos dados bioestratigráficos e cronoestratigráficos dificultem correlações.

Tabela 1

Características importantes para o diagnóstico e correlações em perfis de poços.

Table 1

Important characteristics for well-log diagnostics and correlations.

Características	Rio do Rasto	Rio do Rasto-Sanga do Cabral/eólico	Sanga do Cabral/fluviais	Santa Maria	Piramboia	Botucatu
Valores de gama	Elevados, muito variáveis	Baixo, constante, picos	Variável, elevados	Elevados	Baixo e alto decrescente	Baixo
Arranjo de formatos	Serrilhado	Caixa, decrescente	Caixa e serrilhado	Caixa e serrilhado	Caixa e serrilhado, crescente	Caixa, constante
Dipmeter	Baixo	Alto e baixo	Baixo	?	Alto e baixo	alto
Resistência à perfuração	Elevada	Elevada	Elevada	Baixa	Baixa	Mto. baixa
Argilidade	Alta	Baixa	Alta	Elevada	Inf: alta Sup: moder	Mto baixa
Gran e seixos	Ausente	Ausente	Comuns	Comum	Inf.: baixa	na base
Lamitos	Comum	Raros	Comuns	Comum	Raros	Ausente
Cor	Cz, vm,	Vm	Vm	Cz e vm	Cr, Ct	Ct
Retrabalhamento eólico	Raro	Moderado	Raro	Raro	Moderado	Elevado
Litologias	A, fn, mf, L	A, md, X/H	A fn, cgi, L	A, fn, cg/ L	A, fn, md, mf cg, X/H, L	A, fn, md, mf, cg, X

A = arenito (fn = fino; mf = muito fino; md = médio); L = lamito; X = estratificação cruzada; H = estratificação horizontal; cgi = conglomerático intraformacional; cg = conglomerático; Cz = cinza; Vm = vermelho; Ct = Castanho.

o registro estratigráfico do Mesozoico na Bacia do Paraná

O registro sedimentar mesozoico da Bacia do Paraná estende-se nos territórios brasileiro (Centro-Sul do Brasil), paraguaio, uruguaio e argentino, com área de aproximadamente 1 milhão de quilômetros quadrados (fig. 1). Arenitos predominantemente eólicos associados a grandes desertos constituem as principais unidades de ocorrência extensiva. O registro deste ambiente árido e semiárido envolve depósitos desde o final do Permiano (Formação Rio do Rasto), estendendo-se até o Mesocretáceo (Formação Caiuá). Inclui unidades tradicionais e notáveis pelo seu conteúdo fossilífero com valor cronológico, como a Formação Santa Maria (de ocorrência local) e as formações Botucatu e Piramboia, com seus correlatos parciais Taquarembó (Uruguai) e Misiones (Paraguai e Argentina), pela representatividade de um extenso deserto superárido na América do Sul. Neste conjunto, outras designações foram propostas para distinguir unidades de menor distribuição ou de significado genético diferente. As idades atribuídas a estas unidades, bem como suas relações de contato com as unidades acima e abaixo, são conflitantes. Às unidades subjacentes atribui-se idade permiana (Rohn, 1994)

a eotriássica (Lavina e Barberena, 1985; Zeffass *et al.*, 2005); à unidade sobrejacente, Formação Serra Geral, e suas correlatas nos países vizinhos, Arapey, no Uruguai, e Alto Paraná, no Paraguai, atribui-se idade eocretácea (130-140 Ma; Turner *et al.*, 1994).

Os sedimentos fluvioeólicos da Formação Piramboia e eólicos da Formação Botucatu são carentes de fósseis com valor cronológico conhecido. A grande extensão de ocorrência, em parte descontínua, e a falta de fósseis que permitam boa correlação estratigráfica em poços levam a muitas ambiguidades, assim como a designações, correlações e idade conflitantes. Desde sua formalização, atribuem-se diferentes interpretações para as unidades que envolvem o limite permotriássico, como, por exemplo, Gordon Jr. (1947) e Mendes (1962) e a própria definição deste limite. Concepções de épocas diferentes ressaltam a ambiguidade existente, como, por exemplo, a idade permiana atribuída à Formação Piramboia nas cartas cronoestratigráficas da Bacia do Paraná (Milani *et al.*, 2007).

A parte sul difere das demais regiões da bacia, havendo uma concepção bastante difundida da inclusão da Formação Piramboia na sequência neopaleozoica. Entretanto, na área tipo e no resto da bacia, aquela formação ocorre continuamente sotoposta à Formação Botucatu, sendo por isto considerada triássico-jurássica, revelando uma significativa incompatibilidade de proposições.

As ocorrências dos arenitos tidos como Piramboia (Lavina *et al.*, 1993; Milani *et al.*, 1998), no Rio Grande do Sul, foram revistas e reinterpretadas. A análise faciológica de poços exploratórios e de afloramentos possibilitou consolidar uma concepção estratigráfica para este intervalo. Alguns resultados compõem um cenário bastante claro, revelando que tais arenitos eólicos permianos avermelhados com ocorrência típica no Sudoeste do Rio Grande do Sul (Rosário do Sul e Cacequi) constituem unidade não correlacionável à Formação Piramboia. De forma semelhante, no Uruguai, a formação eólica Cuchilla Ombú (Ferrando e Andreis, 1986), interna ou na base da Formação Buena Vista, constitui o registro de um evento eólico permiano e não se correlaciona com a Formação Piramboia.

As relações de contato entre as unidades tipicamente triássico-jurássicas e as sotopostas à discordância merecem destaques diferenciados, pois a interpretação tectônica depende fundamentalmente das relações espaciais e temporais, principalmente quando se considera a concepção de Sequência. O limite permotriássico (P-T) é um limite clássico que implicou mudanças severas na vida, no clima e na organização dos continentes e oceanos (Soares *et al.*, 2007b). A definição do limite em registro estratigráfico continental é precária, e o principal limite de máxima extinção, mínima sobrevivência e recuperação faunal situa-se no início do Triássico (Modesto e Botha-Brink, 2010; Induano Inferior, 244,8 Ma a 248,2 Ma), coincidindo com o penúltimo evento notável da orogenia Gondwana (Zerfass *et al.*, 2003).

Definida no estado de São Paulo com ocorrência estendida a quase toda a Bacia do Paraná, a Formação Piramboia foi inicialmente correlacionada à Formação Santa Maria (Almeida, 1954). Estas seriam parte do mesmo sistema desértico, que passaria de uma condição mais úmida para mais seca (Washburne, 1930; Almeida, 1954; Stanford e Lange, 1960; Gamermann, 1973; Soares, 1975). Nas partes sul, oeste e noroeste da Bacia do Paraná, a presença de fácies subaquosas ou úmidas de interduna nos arenitos dunares é menor que no flanco leste. Entretanto, as fácies de arenitos grossos fluviais são mais frequentes. Em ambas as regiões, a presença de unidades argilosas é mais frequente na parte basal.

Alternativamente, a Formação Piramboia seria ainda parte da Sequência Paleozoica (Lavina *et al.*, 1993; Milani, 1992; Milani *et al.*, 2007), tal como no caso da Formação Sambaíba (Vaz *et al.*, 2007), da

vizinha Bacia de Parnaíba. Esta ideia originalmente apresentada por Lavina (1989; 1992), na parte sul da bacia, resultou da identificação de fóssil *Lystrosaurus* da base do Triássico em depósitos fluviais da Formação Sanga do Cabral, sobrepostos a espesso pacote de arenitos de dunas eólicas. Por similaridade, tais depósitos foram correlacionados aos da Formação Piramboia, o que implicaria a atribuição de idade neopermiana para esta unidade, concepção esta revista por Soares *et al.* (2007b), que voltam a argumentar em favor da idade jurássica.

Embora a idade da Formação Piramboia no estado de São Paulo seja incerta, seu conteúdo fossilífero de ostracodes e conchostáceos apresenta afinidades com paleofaunas do Mesozoico (Almeida, 1954). A unidade equivalente à Formação Piramboia no Uruguai é a Formação Taquarembó, ou Membro Batovi. Situa-se acima e em discordância com a Formação Buena Vista, esta com fósseis do limite permotriássico. O Membro Batovi apresenta conteúdo fossilífero do Jurássico Superior (Perea *et al.*, 2009) e é contínuo com a Formação Guará. A ichnofauna atribuída a saurópodes, terópodes e dinossauros, que ocorre na Formação Guará, sotoposta à Formação Botucatu no Sudoeste do Rio Grande do Sul, não apresenta valor cronoestratigráfico, embora seja compatível com a idade Jurássico Superior (Scherer e Lavina, 2005; 2006).

As bacias vizinhas não trazem informações mais consistentes. Nos Andes, os arenitos eólicos iniciaram sua deposição no início do Neopermiano. A unidade, possivelmente correspondente ao Piramboia, na Bacia do Karoo, é composta pelas formações Elliot e Clarens, tanto pelo posicionamento sobre a Formação Molteno do Neotriássico, como pelo ambiente deposicional, com uma proporção crescente de arenitos eólicos intercalados com os fluviais (Kitching e Raath, 1984; Bordy *et al.*, 2004); sua idade é limitada ao intervalo 190-180 Ma, a idade do magmatismo (Formação Drakensberg) que a afetou. Na Bacia de Huab, no Sudoeste da África, na parte mais próxima da Bacia do Paraná, ocorre a Formação Etjo, muito similar às formações Clarens e Piramboia-Botucatu, com depósitos fluviais e eólicos que se tornam progressivamente mais eólicos para o topo, até serem encobertos pelas rochas vulcânicas da Formação Etendeka, de 140-132 Ma (Peate, 1997).

Na Bacia do Parnaíba, ocorre uma unidade muito similar à Formação Piramboia, que é também litologicamente similar ao pacote eólico de Rosário

do Sul – a Formação Sambaíba. Diversos autores, em trabalhos de integração, como na carta estratigráfica da bacia (Góes e Feijó, 1994), incluíram esta unidade na continuidade da sequência inferior, de idade permiana, de forma homóloga ao que foi feito na Bacia do Paraná. Entretanto, os levantamentos geológicos na bacia mostraram que sua base é discordante e localmente se encontra sobre as formações Piauí (C), Longa (Pi) ou Motuca (Ps), e que ocorrem derrames intercalados no topo (Formação Mosquito), posteriormente datados como do Eojurássico (179 Ma; Misuzaki e Thomaz Filho, 2004). Neste caso, teríamos uma equivalência com a Formação Piramboia e a confirmação da pertinência a uma sequência triássico-jurássica. As formações posteriores a este vulcanismo, Pastos Bons e Corda, são limitadas acima pelo vulcanismo cretáceo (Formação Sardinha), em torno de 135 Ma. Desse modo, confirma-se, nestas bacias, a concepção de sequência cratônica triássico-jurássica.

O topo da Formação Piramboia foi considerado por alguns autores como discordante com a Formação Botucatu sobreposta (Gordon Jr., 1947; Vieira, 1973).

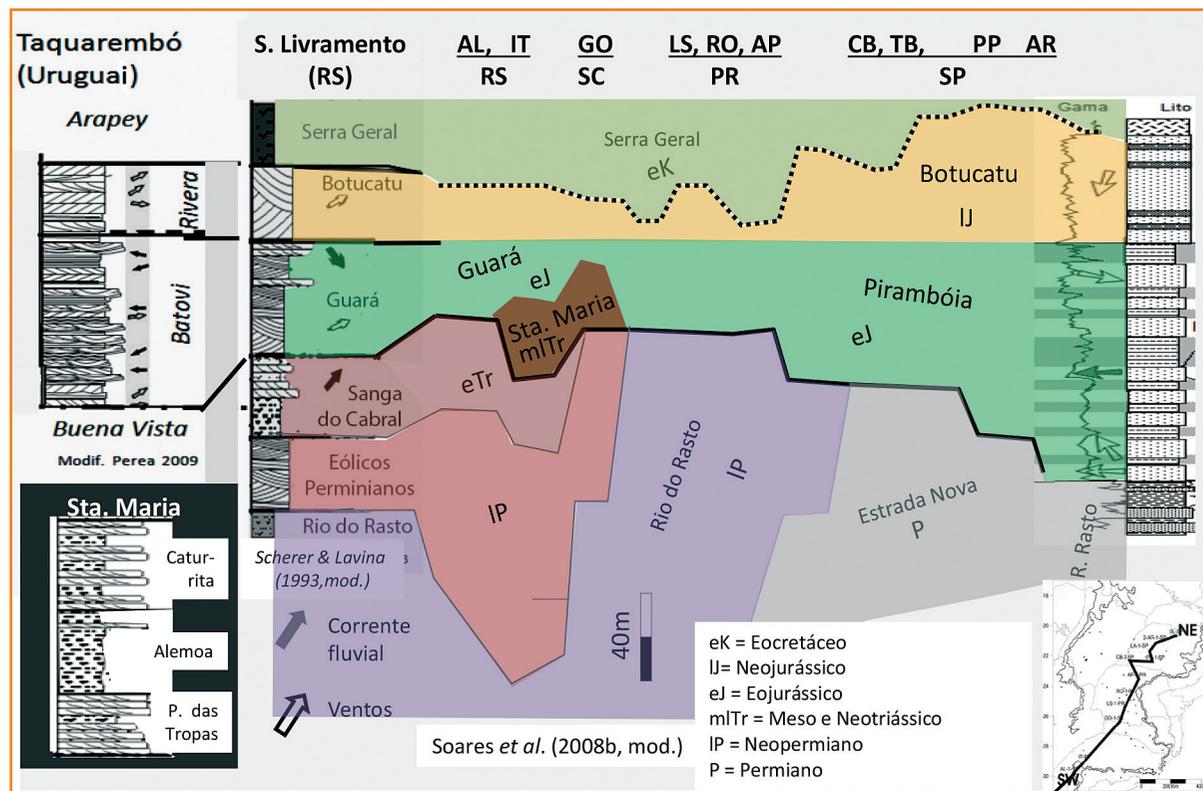
Algumas mudanças importantes são notadas no contato Botucatu/Piramboia. Em vários locais aparecem, além da superfície erosiva com paleossolo, juntas de contração preenchidas e alteração abrupta de cor, tornando-se mais avermelhada. É notável a maior maturidade textural da Formação Botucatu, indicando menor taxa de subsidência e soterramento, ou mesmo ausência de subsidência. Verifica-se alteração na mineralogia de minerais pesados, indicando o aparecimento de basaltos na área-fonte (Soares, 1975; Wu e Soares, 1974). Na base ocorrem localmente camadas de conglomerado rico em feldspato. Além da mudança climática, revelada pela cor dos sedimentos, superfícies de deflação, direção dos ventos e fim das planícies úmidas nas interdunas, eventos tectônicos também afetaram a bacia.

Seguindo os resultados alcançados por Soares *et al.* (2007a e 2007b) e adotando os critérios referidos acima (tabela 1), uma seção estratigráfica sudoeste-nordeste na Bacia do Paraná permite evidenciar a distribuição espacial das unidades e a tendência para subsidência mais ativa na parte norte da bacia (fig. 2).

Figura 2

Representação diagramática da posição espacial ocupada no Neojurássico pelas diferentes unidades da STRJ e de seu embasamento, niveladas no contato Botucatu-Piramboia. A posição relativa de cada unidade é mostrada em uma seção sudoeste-nordeste na parte central da BP. As letras no alto da seção referem-se às designações dos perfis de poços utilizados (modif. de Soares e Soares, 2008b) e dos estados em que se localizam (RS, SC, PR e SP).

Diagrammatic representation of the spatial position occupied during the Neojurassic, by the STRJ different units and their basement, leveled in the Botucatu-Piramboia contact. The relative position of each unit is shown in a SW-NE section in the central Paraná Basin. Letters at the top of the section stand for well-log designations (modified from Soares e Soares, 2008b) and states where located (RS, SC, PR and SP).



As seções litoestratigráficas laterais são aquelas consideradas como melhor representativas do conteúdo de cada unidade, segundo diferentes autores. A presença da Formação Santa Maria no poço GO-1-SC e IT-1-RS é reinterpretada, bem como a presença, em espessa seção, dos arenitos eólicos vermelhos do Neopermiano, aqui referidos como Rosário do Sul, nos poços de SC e RS.

A comparação entre os perfis da margem da calha da bacia (GO-1-PR e TB-1-SP) com o interior da calha central (AN-1-PR, Arapey-UY) é mostrada na figura 3, com o intuito de marcar a presença de uma seção a mais, na calha, sem correlação com o flanco da bacia. É notável que na calha da bacia, no sul, extremo noroeste do Uruguai, ocorre uma seção similar sotoposta à Formação Taquarembó e em discordância sobre os arenitos eólicos permianos (Membro Conventos), que foi designada Formação Itacumbu (Santa Ana e Veroslavsky, 2004). É formada por arenitos de granulação fina a muito grossa, frequentemente micáceos, intercalando camadas de lamitos vermelhos e cinzentos, com espessura superior a 250m.

Em um corte geológico na bacia, estas diferentes unidades mostram um arranjo espacial

interessante; adotando a base da Formação Botucatu como datum, tal corte mostra a atividade tectônica acumulada na sequência, antecedendo a tectônica do rifteamento do Gondwana. Entretanto, deve ser registrada a notável ambiguidade na correlação. É o caso, por exemplo, da região de Goioxim (GO-PR, fig. 2), onde o pacote argiloso presente é considerado parte da Formação Santa Maria e poderia ser estendido à calha da bacia (fig. 3).

Na calha da bacia, estendendo-se também para oeste, ocorrem três seções na Formação Piramboia (fig. 3). Na seção superior são encontrados arenitos grossos e lamíticos intercalados em fácies eólicas, comparáveis ao membro superior da Formação Piramboia, aflorante em São Paulo. As partes inferiores do poço AN-1-PR contêm mais de 200m de arenitos fluviais, com intercalações de camadas de lamitos vermelhos, creme e cinzentos. Este pacote com arenitos micáceos, cores acinzentadas e sem exposição na faixa de afloramentos, com espessura total superior a 600m, poderia ter correlação com unidades do Triássico do Rio Grande do Sul. A variação lateral de espessura é tão forte que é possível admitir a presença de estruturas do tipo gráben similares às de Santa Maria.

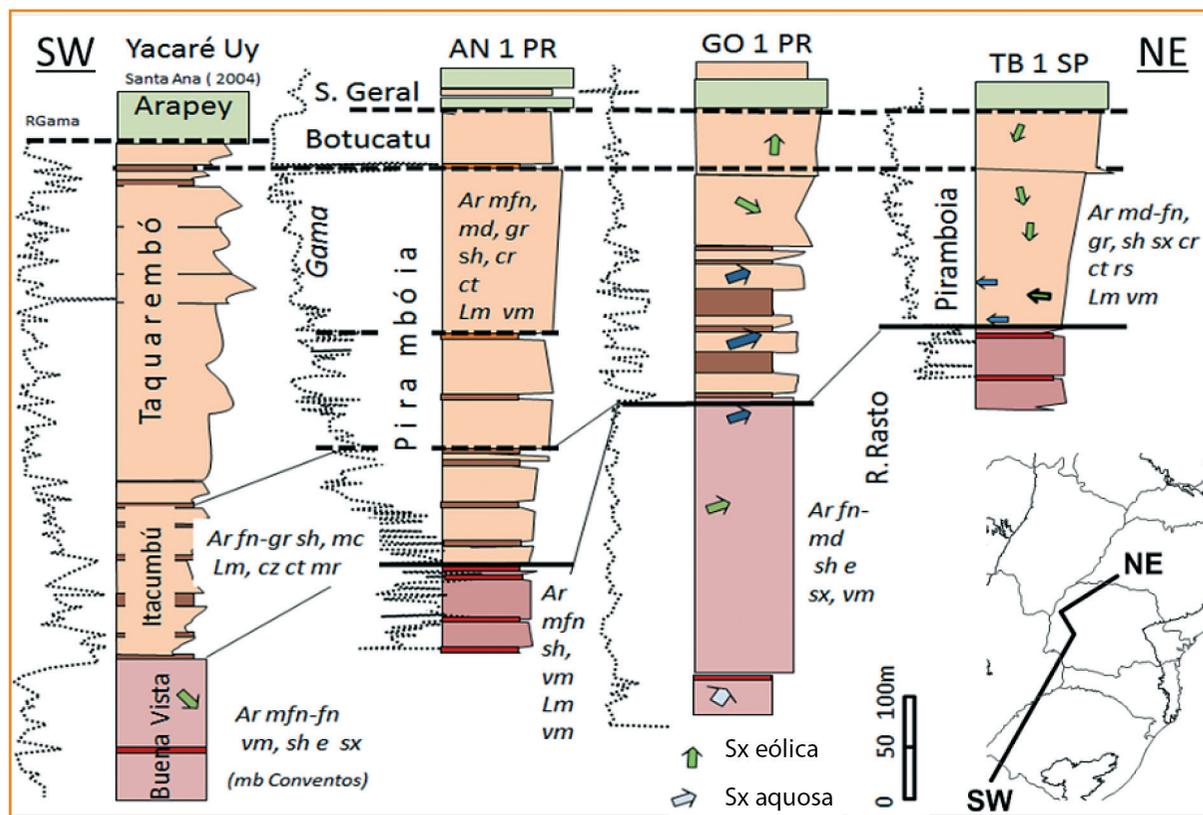


Figura 3
 Comparação entre perfis gama e litológicos de poços, característicos da parte nordeste da bacia (TB-1-SP), do centro leste (GO-1-PR) com perfis da calha da bacia (AN 1 PR), na parte central e sul (Yacaré, no extremo noroeste do Uruguai). Duas seções de litologias mais finas e argilosas aparecem na parte basal do Piramboia, correlatas a Itacumbu e Taquarembó Inferior, desconhecidas em afloramentos.

Figure 3
 Comparison of the gamma and lithological well logs typical of different regions of the basin: northeast (TB-1-SP), east central (GO-1-PR), central trough (AN-1-PR) and southern trough (Yacaré, in the extreme northwest of Uruguay). Two of the thinnest and most clay bearing sections appear in the lower part of the Piramboia Formation (correlated to Itacumbu and lower Taquarembó formations) and seem to have no outcropping.

relações estratigráficas

O diagrama litoestratigráfico da figura 4 foi composto de forma a registrar as principais informações disponíveis e relativamente bem documentadas sobre o arranjo das unidades estudadas, suas fácies e suas idades, com base nas faunas fósseis e idades de rochas vulcânicas, mesmo que em bacias diferentes, porém vizinhas sobre o mesmo cráton. Tais informações decorrem essencialmente dos trabalhos de Soares (1975), Soares e Landim (1973) em São Paulo e Paraná, Bortoluzzi (1974), Andreis *et al.* (1980), Lavina e Barberena (1985), Holz e Scherer (2000), Faccini (2000) e Zeffass *et al.* (2003) no Rio Grande do Sul; e Perea *et al.* (2009) no Uruguai. As relações aqui destacadas já

foram investigadas, estendidas para toda a bacia e integradas no trabalho de Soares *et al.* (2008a). As seguintes observações, referidas na figura 4, com numeração, merecem ser destacadas:

1. na parte norte da bacia, o contato basal da Formação Piramboia trunca em discordância unidades progressivamente mais antigas para norte (Soares e Landim, 1973), estendendo-se até unidades inferiores à Formação Irati (270-280 Ma; Santos *et al.*, 2006) o que é confirmado pelo registro bioestratigráfico (Rohn, 2007). Considera-se, pois, inválida a concepção de transição e interdigitação da Formação Piramboia com a Formação Corumbataí (Estrada Nova), conforme atribuída por Giannini *et al.* (2004);

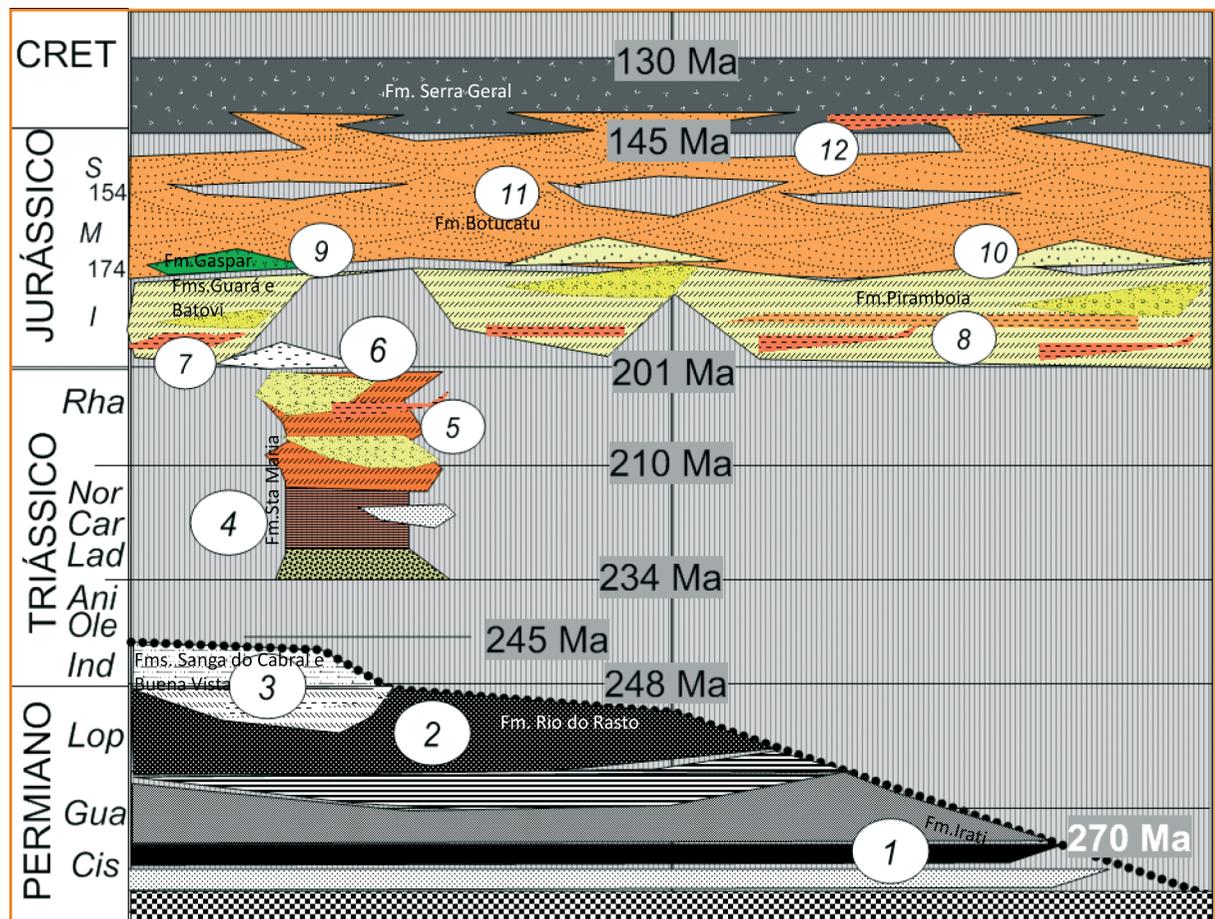


Figura 4 – Diagrama estratigráfico espaço-temporal (orientação SSW-NNE), desde o Uruguai (UY), passando pelo Oeste do Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC), Paraná (PR), até São Paulo (SP) e Mato Grosso (MT), mostrando as relações entre as diferentes unidades que compõem a sequência triássico-jurássica na Bacia do Paraná.

Figure 4 – Space-time stratigraphic diagram (SSW-NNE strike), from Uruguay (UY), crossing the west of Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC), Paraná (PR), to São Paulo (SP) and Mato Grosso (MT) states, showing the relationships between the various units that make up the Triassic-Jurassic sequence in the Paraná Basin.

2. a Formação Rio do Rasto, fluviolacustre de planície deltaica, semiúmida, com intervalos semiáridos, intercala depósitos eólicos, o que é considerado um indicador climático que a correlaciona, em sua parte superior, com os arenitos eólicos (unidade Rosário do Sul) no Rio Grande do Sul, inicialmente tidos como parte inferior da Formação Sanga do Cabral e, erroneamente, também como Formação Piramboia;
3. a Formação Sanga do Cabral e sua continuação no Uruguai dentro da Formação Buena Vista, de ambiente fluvial semiárido, tem fósseis característicos do início do Triássico, não ultrapassando o Induano (Lavina e Barberena, 1985; Schultz *et al.*, 2000; Piñeiro *et al.*, 2004), enquanto a Formação Rio do Rasto – que inclui raros depósitos eólicos, na parte central da bacia (Serra do Espigão-SC) – se estende até o final do Permiano (Klepzig, 1978; Rohn, 2007). Tal condição caracteriza uma transição e interdigitação entre ambas; esta interdigitação é indicada também pela ocorrência de fácies e biozonas equivalentes à Fm. Sanga do Cabral na Fm. Boa Vista, no Uruguai, e a equivalência desta unidade, em continuidade física, através de poços, com a Fm. Rio do Rasto;
4. no interior da bacia. Apesar da superfície erosiva na base dos depósitos eólicos permianos, a discordância estratigráfica não é reconhecida no limite P-T convencional, situando-se a 4 Ma acima deste limite, no topo das formações Sanga do Cabral e Buena Vista, com hiato significativo, de cerca de 10 Ma. Por esta razão, considera-se imprópria a sua manutenção no mesmo grupo da Formação Santa Maria;
5. uma discordância desenvolvida em largo intervalo de tempo (>10 Ma) antecede a formação de espaço para acomodação da Formação Santa Maria. Esta formação é considerada em sua constituição original, com três membros, litologicamente diversos e inter-relacionados e paleontologicamente de diferentes cenozonas (Schulz *et al.*, 2000): (a) Membro Passo das Tropas – arenitos fluviais (Cenozona Therapsida; flora *Dicroidium*); (b) Alemoa – lamitos vermelhos com intercalação isolada de corpos arenosos com estratificação acanalada (Cenozona *Rinchosaurus*); (c) Caturrita – arenitos fluviais, localmente conglomeráticos, cuja idade é incerta;
6. embora alguns autores tenham considerado fora da unidade Santa Maria (Zerfass *et al.*, 2003), o Mb. Caturrita (Bortoluzi, 1974) mostra estreita associação espacial, continuidade, variação lateral e relação genética com esta formação (Holz e Souto-Ribeiro, 2000); seu conteúdo paleontológico ainda é do Neotriássico. Encontra-se lateralmente relacionada, ou sotoposta, à unidade Mata (Faccini *et al.*, 1998), de ocorrência local;
7. o contato superior da Formação Santa Maria é diretamente com a Formação Botucatu sobrejacente, incluindo localmente um conglomerado entre elas, sendo notável a ausência tanto da Formação Piramboia como da Formação Guará. A presença dos conglomerados da unidade Mata entre as formações Santa Maria e Botucatu é notável na parte oeste;
8. a Formação Guará guarda semelhanças litológicas e estratigráficas com a Formação Piramboia, com predomínio de dunas e interdunas úmidas; estende-se para o Uruguai (Formação Batovi) e interior da bacia, com as mesmas características, sotoposta à Formação Botucatu (Formação Rivera, no Uruguai);
9. na parte norte e noroeste da bacia, encontram-se as maiores espessuras da Formação Piramboia (até 400m), caracterizada pelas fácies de arenitos dunares e interdunares úmidos e leitos subaquosos, bem como intercalação de fácies de conglomerados e arenitos conglomeráticos (unidade Itirapina; Caetano-Chang e Wu, 2003; Soares *et al.*, 2007b); leitos subaquosos fossilíferos – conchostráceos e crustáceos – não têm até agora valor cronoestratigráfico seguro, embora sejam considerados típicos do Jurássico (Almeida, 1954). É notável a frequência de leitos síltico-argilosos, presença de fácies arenosas mais argilosas na parte inferior na calha da bacia e o engrossamento da granulometria para cima;
10. no sul da Bacia do Paraná, no Uruguai, foi detectada em sondagem a presença de basalto na Formação Gaspar, na base da Formação

Taquarembó, com idade de 165 Ma (Santa Ana e Verolavsky, 2004; K-Ar 165+/-8 Ma). A confirmação de um ambiente vulcânico traria uma restrição estratigráfica severa, mantendo os cerca de 600m de sedimentos acima depositados no Jurássico superior. Caso fosse um evento intrusivo, como interpretado previamente, a correlação se ajustaria a mudanças ambientais continentais;

11. o contato basal da Formação Botucatu, localmente, mostra superfície com longo tempo de deflação, exposição, formação de solo e alguma crostificação; fraturas epigenéticas preenchidas por areia, juntas poligonais e localmente a presença de conglomerado residual, incluindo restos de ossos, bolas de argila e bombas bastante alteradas, são feições frequentemente encontradas;
12. a Formação Botucatu mostra excepcional homogeneidade litológica. Foi depositada em grandes campos de dunas, onde as interdunas eram tipicamente superfícies erosivas secas ou depósitos eólicos laminares; paleossolos são frequentes no topo das dunas, com desaparecimento da estratificação e alguma bioturbação (Soares, 1973, 1975, 1992; Soares *et al.*, 2008b). Pode ser interpretado como deposição e conservação prolongada da duna acima do nível de base, somente preservada pela atividade vulcânica posterior;
13. o contato de topo é dado pela cobertura basáltica, às vezes em superfície erosiva e outras em superfície deposicional dunar (Scherer, 2002; Holz e Kalkreuth, 2004; Holz *et al.*, 2008); são frequentes intercalações de depósitos dunares acima dos primeiros derrames de lava e recobrimento de relevo dunar de até 80m de altura, com idade pouco superior a 140 Ma (Turner *et al.*, 1994).

relações tectônicas

No final do Permiano, estendendo-se ao Eotriássico, ocorreu a deformação registrada nas formações Rio do Rasto e Sanga do Cabral, contemporânea à sedimentação e anterior às unidades

sobrepostas. Esta deformação é compressiva, com falhas reversas e dobras suaves, observadas em afloramentos e seções sísmicas. É associada ao pico da orogenia Gondwanides (Milani e Ramos, 1998), ciclo Herciniano, revelada também pelo progressivo suprimento arenoso proveniente de oeste e sudoeste, que já se manifestava desde a Formação Irati.

Estruturas tectônicas paleozoicas vistas em seções sísmicas e em afloramentos na bacia não são comuns, porém são fortes indicadores de que a colisão de blocos continentais na margem gondwânica ocorria com intensa compressão continental, tendo em vista a grande distância dos eventos.

Um novo ciclo de subsidência cratônica iniciou-se de forma localizada, estendendo-se até o final do Jurássico. O caráter continental e inconsistente deste ciclo, dominado por aridez climática e carência de depósitos subaquosos, deixou um registro carente de indicadores cronológicos. Esse fato dificultou a correlação e interpretação tectônica em termos de correlação de sequências cratônicas (sequência Delta-A de Soares *et al.*, 1978).

O final da deposição da sequência corresponde ao extensivo recobrimento dos campos de dunas por vulcanismo fissural de composição predominantemente basáltica. Extensos diques de direção SE-NW, como densos enxames, afetaram a bacia submetida à extensão NE-SW, especialmente na região do Norte paranaense e Sul paulista, estendendo-se desde a atual plataforma continental até o flanco oeste (Ferreira, 1982).

O quadro estrutural regional da bacia atual se desenhou nesta fase de deformação, acompanhando o rifteamento continental: extensas zonas de falhas NW e NE, subordinadamente N-S e E-W, e complexos de diques NW (Soares, 1974; Soares *et al.*, 1982; Zalán *et al.*, 1987), ressaltados pelo amplo soerguimento continental do Cenozoico.

evolução tectônica

Durante a orogenia gondwânica, desenvolveram-se estruturas contemporâneas nas planícies aluviais e deltaicas (Formação Rio do Rasto). Esta sedimentação progrediu de oeste-sudoeste (Gama Jr., 1979) e colmatou progressivamente o mar interior epicontinental, isolado desde a época da deposição da Formação Irati (260 Ma a 270 Ma). Às planícies deltaicas sobrepuseram-se campos de dunas, com ocorrência maior no sul da bacia, os arenitos eólicos Rosário do Sul

(sensu stricto). Tais campos de dunas voltam a ser recobertos por depósitos de sistemas fluviais entrelaçados, com canais rasos, largos, pouco canalizados, provenientes de sul e sudoeste, com idade tida como pouco acima do limite permotriássico (248-245 Ma; Induano, Formação Sanga do Cabral). Sucedeu-se um soerguimento (245-234 Ma) que deformou e erodiu irregularmente os sedimentos permianos e eotriássicos, especialmente nas bordas da bacia, formando depósitos em depressões estruturais, com destaque para a parte sul da bacia (RS e Uruguai).

Tais estruturas ativas durante o Neopermiano Superior alcançaram o início do Triássico com diversos pulsos compressionais, no intervalo entre 270 Ma e 230 Ma, ao longo da margem ocidental do paleocontinente. Registros de deformação

compressiva são encontrados em afloramentos e em seções sísmicas na Bacia do Paraná (Milani, 1992; Soares, 1992; Santa Ana e Veroslavsky, 2004; Strugale *et al.*, 2012), embora não exista um estudo estrutural sistemático desta fase deformacional na bacia. Em afloramentos são identificadas falhas transpressivas, pequenos anticlinais e sinclinais erodidos e recobertos, diastemas angulares, falhas inversas, na maioria dos casos com direções NW a NNW (figs. 5a e 5b; fig. 6), indicando esforços compressivos orientados na direção SW-NE.

Em alguns casos, exames detalhados de seções sísmicas mostram a deformação na Formação Rio do Rasto, como exemplificado na figura 6. A deformação compressional neopermiana e eotriássica apresenta feições mais desenvolvidas no Uruguai, por sua maior proximidade com a

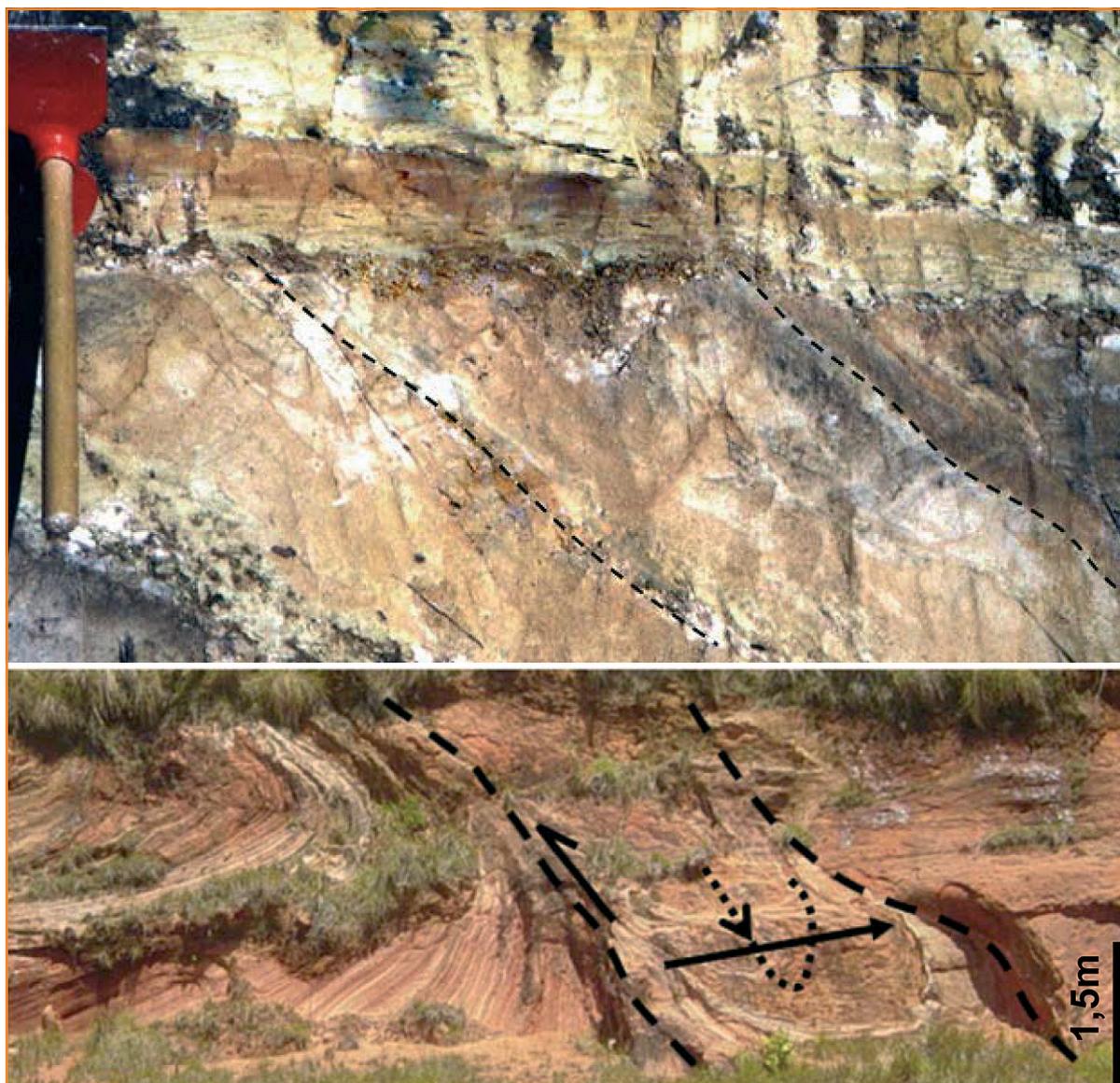


Figura 5

Registro de eventos tectônicos sinsedimentares no Neopermiano da Bacia do Paraná: (A) diastema angular, na parte superior do Membro Morro Pelado (Formação Rio do Rasto) em Candido de Abreu (PR). (B) Deformação compressiva com sinclinal inclinado na zona de falha de empurrão afetando os arenitos eólicos permianos (Rosário do Sul, RS).

Figure 5

Neopermian sinsedimentar tectonic events in the Paraná Basin: (A) angular diastem in the upper Morro Pelado member (Rio do Rasto Formation) in Candido de Abreu (PR). (B) Compressive deformation with inclined syncline in the thrust-fault zone affecting the Permian eolian sandstones (Rosário do Sul, RS).

fonte dos esforços, e que são observadas tanto nas seções sísmicas como em dados de afloramentos (Santa Ana e Veroslavsky, 2004). Por esta razão, sinclinais neopermianos e eotriássicos permitiram a acumulação e preservação de maior espessura de arenitos eólicos permianos e de depósitos da Formação Sanga do Cabral sobreposta.

Esta notável inversão tectônica ocorre após a compressão associada à colisão da Patagônia com o supercontinente Gondwana (Ramos, 1988; Milani e Ramos, 1998; Milani *et al.*, 2007). No interior continental, verifica-se uma pobreza de idades relativas a estes dois eventos marcadores da mudança de condições de convergência para divergência. Nas proximidades das margens e zonas colisionais, as indicações são mais precisas; Zerfass *et al.* (2003) apresentam detalhes bastante consistentes desta passagem.

uma discordância angular, indicando recorrência de deformação compressional. Na Bacia do Karoo, este intervalo se caracteriza também por forte discordância, com hiato cobrindo quase todo o intervalo de 10 milhões de anos (237-228 Ma; Hancox, 1998). Ou seja, por comparação, o início das condições extensionais de subsidência para a STRJ estaria em torno de 228 Ma.

Destaca-se também a deformação aparente, notável em mapas geológicos, como o do sistema de falhas Jaguari-Mata (Zerfass *et al.*, 2003). Algumas falhas interrompem a continuidade de formações inferiores, como os sedimentos eólicos permianos (Rosário do Sul) e outras que parecem afetar apenas as unidades superiores: Santa Maria, Mata e Botucatu. A mesma área que foi um alto durante a deformação permotriássica passou a ser uma depressão durante a deformação extensional mesotriássica.

As condições tectônicas que geraram espaço para o início da sedimentação da STRJ estão vinculadas a um evento extensional generalizado no Gondwana durante o Mesotriássico. Foi notável a tectônica extensional na margem do continente, especialmente na região andina. Tal evento é bem conhecido e referido ao período 230-205 Ma (Zerfass *et al.*, 2005), estendendo-se até o limite Triássico-Jurássico. O gráben formador da Bacia de Santa Maria no Rio Grande do Sul é correlato a este evento.

A erosão de parte da Formação Santa Maria, ao final do Triássico, com sua preservação do Mesotriássico apenas no interior do gráben, atesta o intumescimento e o soerguimento generalizados da região, extensivos a todo o continente, com atividade vulcânica continental em torno de 205 Ma (Zalán *et al.*, 2004).

A quiescência que se sucedeu na região andina é contemporânea à estabilidade continental que permitiu extensivo aplainamento erosivo em clima quente e semiúmido, com extensa laterização de todas as unidades expostas (Soares *et al.*, 2008b), indicada pela cor vermelha das litologias sotopostas, independentemente da formação a que pertencem ou da sua origem: Grupo Itararé (camadas vermelhas da Formação Aquidauana) no Norte e Noroeste da Bacia; diferentes unidades do grupo Passa Dois (camadas vermelhas representadas pela Formação Corumbataí); e formações Rio do Rasto (Membro Morro Pelado), Sanga do Cabral e Santa Maria.

A este período de quiescência sucedeu-se o intumescimento continental, associado à elevação

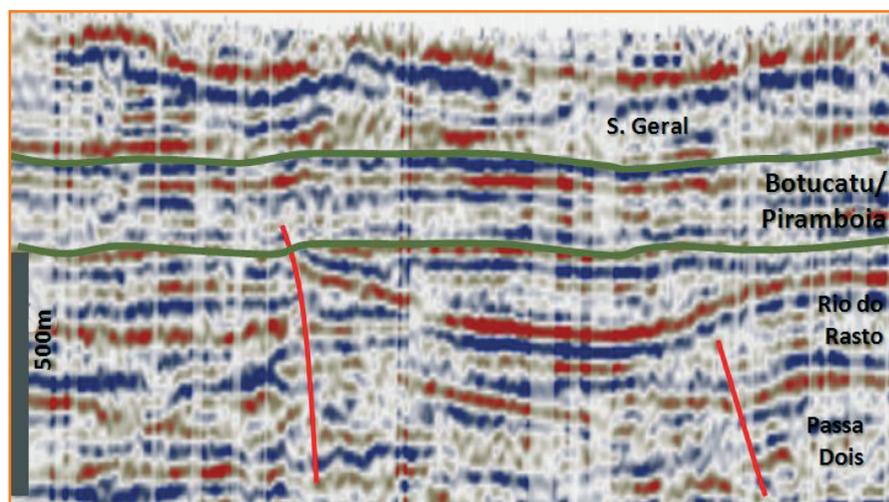


Figura 6 – Detalhe de seção sísmica com direção SW-NE, na área de Porto União (SC), mostrando deformação tectônica sinsedimentar dentro da Formação Rio do Rasto, com feições estruturais similares às observadas em afloramentos (Linha sísmica 0236_22_Paraná, exagero vertical ~ 4 x; dados cedidos pela ANP).

Figure 6 – SW-NE seismic section detail in the Porto União (SC) area, showing sinsedimentary tectonic deformation within the Rio do Rasto formation, with features similar to structures observed in outcrops (Seismic Line 0236_22_Paraná, Vertical exaggeration ~ 4 x; data courtesy of ANP).

Nas bacias intramontanas andinas ou de intra-arco, a orogenia Gondwânica registra expressivo vulcanismo riolítico (257 Ma e 243 Ma; Spalletti, 2001). Por outro lado, o primeiro evento do ciclo de reversão, com rifteamento efetivo, extensivo e evidente no Triássico, corresponde em idade ao Ladiniano (Formação Santa Maria, na Bacia do Paraná), cerca de 230 Ma. É notável que abaixo destas unidades nas bacias andinas ocorra

das isothermas intraplaca, culminando com extensivo vulcanismo toleítico continental em partes do Gondwana ocidental, como na Bacia de Karoo, a 193-179 Ma (Duncan *et al.*, 1997), do Parnaíba (Formação Mosquito, ~178 Ma; Misuzaki e Thomaz Filho, 2004).

A retomada da subsidência, após a atividade vulcânica continental do limite Triássico-Jurássico, atinge de forma generalizada a Bacia do Paraná, de forma semelhante ao que ocorreu em bacias vizinhas, durante todo o Jurássico, correspondendo à deposição dos arenitos subarcosianos Piramboia (com até 400m de espessura), Guará, Taquarembó e Misiones (100m a 200m de espessura) em depressões flexurais lentamente subsidentes e pouco modificadas por falhas. A elevada maturidade textural e mineralógica das areias (Wu e Soares, 1974) e a carência de depósitos lacustres indicam que tanto a subsidência como o suprimento foram muito lentos. O aumento da granulometria das areias e a redução na presença de pelitos indicam que ocorria soerguimento nas margens, especialmente na porção leste, onde aparecem conglomerados na parte superior da Formação Piramboia (fácies Itirapina; Caetano-Chang e Wu, 2003; Assine *et al.*, 2004).

No arranjo estrutural final desenhado pelo mapa de tendência de espessuras (fig. 7a), destacam-se as estruturas típicas da Bacia do Paraná: grandes estruturas homoclinais regionais, arcos e depressões. O mapeamento dos grandes lineamentos da bacia que afetam a STRj (Artur e Soares, 2002) e a caracterização do seu efeito na variação de espessura e na posição espacial (fig. 3) permitiram avaliar regionalmente o efeito da compartimentação da parte superior da STRj.

O mapa de tendência da STRj mostra dois compartimentos diferencialmente subsidentes: no Rio Grande do Sul, parte central, com direção NNW; e em São Paulo-Mato Grosso do Sul, com direção NW. Além destes, é notável a calha central, com direção NNE. Nesta calha central aparece pacote inferior atribuído à Formação Piramboia, extensivo ao Uruguai, o qual poderia ser correlato à Formação Santa Maria (fig. 7a).

Já o mapa de valores residuais (fig. 7b) mostra os desajustes desta tendência, revelando sub-bacias ou zonas subsidentes de ordem espacial menor, possivelmente associadas a falhas, destacando-se os altos do Sudeste (Lages-SC) e os lineamentos delimitadores do arco de Ponta Grossa (Candido de Abreu e Guapiara, porção central do estado do Paraná).

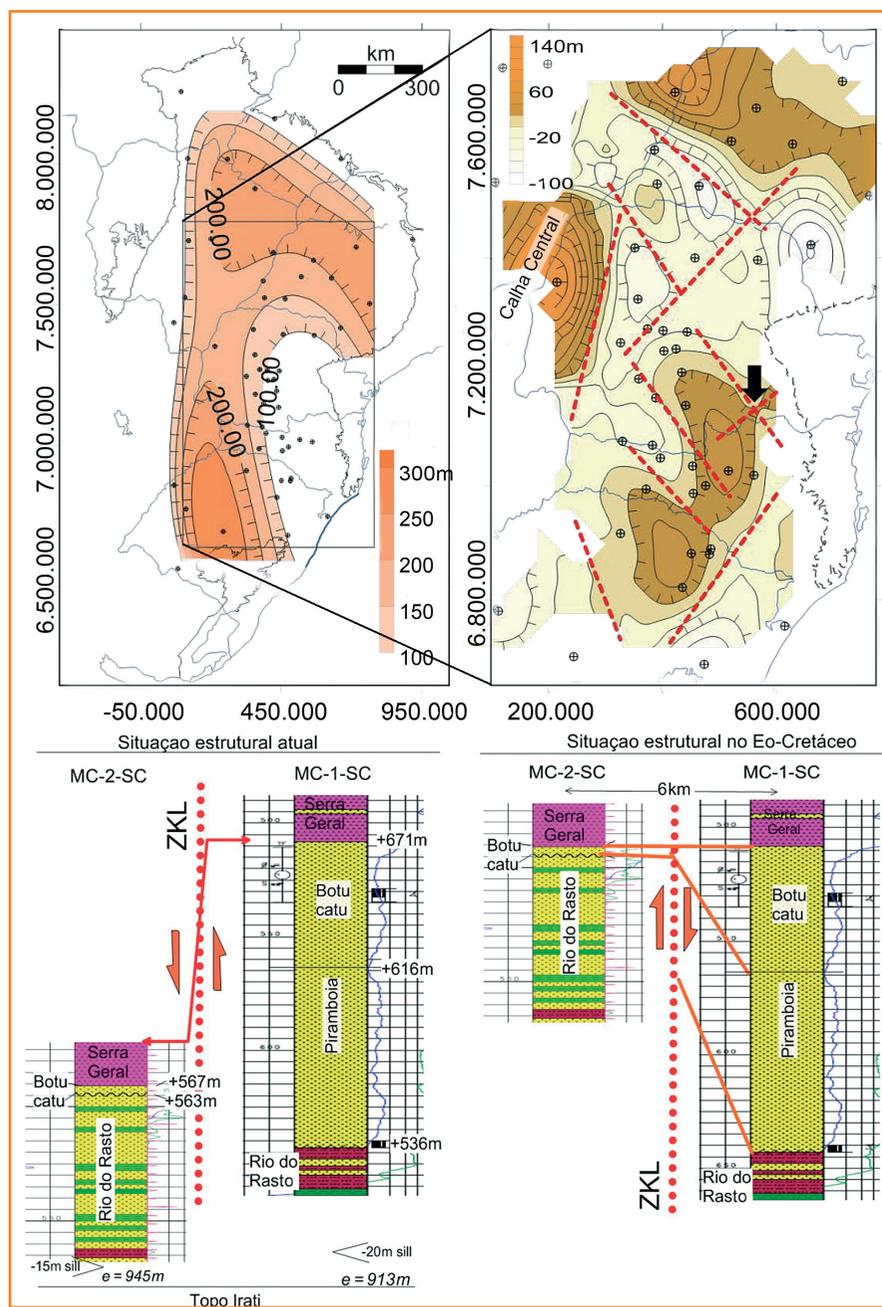


Figura 7 – Variações nas espessuras da STRj, parte inferior: (A) Tendência nas espessuras (ajuste polinomial grau 4) e poços utilizados, indicando as duas principais bacias, Santa Maria no RS e Piramboia em SP e MS. (B) Variações nos resíduos por krigagem anisotrópica, com indicação de flexuras ou lineamentos que apresentam maior relação com limites entre altos e baixos (coordenadas UTM, MC-51; mod. de Artur e Soares, 2002). (C) Variações locais das espessuras na zona de falha da Lancinha (SC, seta em B), com base em poços próximos (Porto União, SC), indicando atividade tectônica, conforme inferido com base nos mapas de isopacas obtidos por krigagem anisotrópica.

Figure 7 – Thickness variations within the STRj, lower part: (A) trend in thickness (polynomial degree 4) and used wells, indicating the two main basins; Santa Maria in RS state and Piramboia in SP and MS states. (B) Residual variations by anisotropic kriging, indicating flexures or lineaments that present greater relationship between upper and lower boundaries (UTM coordinates, MC-51; mod from Artur and Soares, 2002). (C) Local thickness variations in the Lancinha fault zone (SC state; black arrow in B) indicating tectonic activity, as inferred from thickness map obtained by anisotropic kriging.

conclusões

A Sequência tectonossedimentar cratônica Triássico-Jurássica da Bacia do Paraná é composta por duas unidades estratigráficas mesozoicas principais e independentes: a Formação Santa Maria e as formações Piramboia e Botucatu. Incluem-se aí unidades correlatas: Guará, Taquarém e Misiónes. A Formação Santa Maria ocorre localmente, no Rio Grande do Sul, estendendo-se possivelmente pela calha da bacia até o Oeste de São Paulo, sotoposta à Formação Piramboia. A sequência tem idade no intervalo de tempo entre 230 Ma e 140 Ma. A Formação Santa Maria representa a fase distensional da geração de espaço para a sequência tectonossedimentar.

A base da sequência assenta-se sobre distintas unidades litológicas do Carbonífero, Permiano e início do Triássico. A Formação Sanga do Cabral, bem como os arenitos eólicos de Rosário do Sul e Cacequi, e de forma similar no Uruguai arenitos eólicos da Formação Buena Vista, faz parte da sequência sotoposta, estando associada ainda aos eventos deformacionais compressivos da orogênese neopermiana a eotriássica, da margem patagônica e andina, a Gondwanides. A sedimentação deltaica fluvial, localmente eólica, associada a esta deformação continental, se estendeu até o Induano (245 Ma), durante o máximo da orogênese Gondwânica.

A STRJ é delimitada, no topo, pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral. Raramente, em São Paulo, em Goiás e Mato Grosso, a Formação Serra Geral está ausente, e os arenitos fluviais do Grupo Bauru assentam diretamente sobre a STRJ, refletindo uma tectônica deformadora pós-Serra Geral.

Os principais elementos arquiteturais da STRJ refletem diferentes associações de fácies e geometrias, com significado tectônico. São identificadas seis unidades estratigráficas, sendo três de extensão local, limitadas por falhas pós-deposicionais (três membros da Formação Santa Maria, do Triássico Médio e Superior) e duas de extensão regional (formações Piramboia e Botucatu, e suas equivalentes). As unidades possuem grande variação de espessura ao longo da bacia. A Formação Santa Maria tem espessura inferior a 200m, com grande variação associada a falhas. A Formação Piramboia varia de 20m a 400m de espessura, associada à subsidência diferencial maior em faixa alongada a oeste na calha do Rio Paraná e no Noroeste da bacia. A

Formação Botucatu varia de 0m a 150m, uma variação associada à morfologia dunar e à cobertura por derrames. Grandes estruturas de direção NW-SE, como o arqueamento de Ponta Grossa e de São Gabriel no RS, hospedam estruturas falhadas que se caracterizam por variações locais de espessuras e pela presença de conglomerados, indicando condicionamento tectônico sindeposicional.

A STRJ é bastante complexa, heterogênea, com diferentes espessuras e comportamentos genéticos, depositada em ambiente continental com crescente aridez. A grande discordância, sob a sequência, tem idade tardipermiana com extensão até o final do Eotriássico.

Quatro eventos posteriores afetaram fortemente a formação de espaço para acomodação de sedimentos na sequência triássico-jurássica:

1. a extensão mesotriássica, coincidente com os riftes andinos, formando a Bacia de Santa Maria e possivelmente a calha deposicional na parte central da Bacia do Paraná;
2. o intumescimento no limite Triássico-Jurássico, com erosão generalizada na bacia, o qual pode ser interpretado como relacionado ao magmatismo de 205-195 Ma em várias bacias brasileiras e andinas, embora não reconhecido na Bacia do Paraná. Este intumescimento foi sucedido pela subsidência flexural que gerou espaço para a deposição da Formação Piramboia e equivalentes, com evidente aumento progressivo de suprimento sedimentar;
3. novo intumescimento continental no Mesoneojurássico (limite Piramboia-Botucatu), com vulcanismo continental em torno de 180 Ma, gerando interrupção na subsidência e mudança no tempo de retrabalhamento eólico. A região não registrou acumulação significativa de sedimentos abaixo do nível de base, mas apenas o trânsito de areias, com formação de grandes *ergs*, recobertos por lavas.

Desta forma, a discordância posterior corresponde a um longo hiato deposicional, preenchido por areias eólicas em trânsito. A geometria atual da bacia, sua delimitação e caracterização de compartimentos estruturais revelam grande influência de falhas SE-NW e SW-NE, especialmente neste evento contemporâneo ao magmatismo Serra Geral (140-130 Ma).

Apesar de constituir um conjunto contínuo de fácies de clima semiárido a superárido, a compartimentação, as diversas superfícies erosivas e a diferenciação interna da STRJ apontam uma complexidade que parece ultrapassar, localmente, a concepção de uma sequência única. Entretanto, vários indicadores apontam uma extensão e continuidade maiores na sedimentação cratônica neste período de crise climática na história das grandes rupturas continentais, entre 230 Ma e 130 Ma.

agradecimentos

Os autores agradecem a vários colegas com quem tiveram a oportunidade de discutir e trabalhar no tema. Este trabalho se beneficiou de longa maturação, incluindo visitas de campo e discussões com M. Holz, C. Scherer, E. Lavina, U. Faccini, R. Andreis, C. Bortoluzzi, P. Landim e M. Assine. Os autores agradecem aos revisores C. Scherer e A. França pelas críticas e sugestões e a J. Marinho pelo dedicado e cuidadoso trabalho de edição.

referências bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. **Botucatu, um deserto triássico da América do Sul**. Rio de Janeiro: DNPM, Divisão de Geologia e Minerologia, 1954. (Notas Preliminares e Estudos, 86). 21 p.

ANDREIS, R. R.; BOSSI, G. E.; MONTARDO, D. K. O Grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1980. p. 659-673.

ARTUR, P. C.; SOARES, P. C. Paleoestruturas e petróleo na Bacia do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 433-448, dez. 2002.

ASSINE M. L. O eólico e o fluvial na Formação Pirambóia. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 5., 1993, Curitiba. **Resumos...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 1993. p. 53-54.

ASSINE, M. L.; PIRANHA, J. M.; CARNEIRO, C. D. R. Os paleodesertos Pirambóia e Botucatu. In: BARTORELLI, A.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R.; MATESSO-NETO, V. (Ed.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 77-92.

BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R. Early mesozoic wind patterns as suggested by dune bedding in the Botucatu sandstone of Brazil and Uruguay. **Geological Society of America Bulletin**, Washington, DC, v. 72, n. 7, p. 1089-1105, July 1961.

BORDY, E. M.; HANCOX, P. J.; RUBIDGE, B. S. Basin development during the deposition of the Elliot Formation (Late Triassic - Early Jurassic), Karoo Supergroup, South Africa. **South African Journal of Geology**, Petroria, v. 107, n. 3, p. 397-412, Sept. 2004.

BORTOLUZZI, C. A. Contribuição à geologia da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul. **Pesquisa em Geociências**, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p. 7-86, 1974.

CAETANO-CHANG, M. R.; GIMENEZ, N. L. B. Estudo petrográfico dos arenitos da Formação Tatuí no Estado de São Paulo. **Geociências**, São Paulo, v. 17, n.1, p. 81-107, 1998.

CAETANO-CHANG, M. R.; WU, F. T. Diagênese de arenitos da formação Pirambóia no centro-leste paulista. **Geociências**, São Paulo, v. 22, n. especial, p. 33-39, 2003.

CATUNEANU, O.; GALLOWAY, W. E.; KENDALL, C. G. C.; MIALI, A. D.; POSAMENTIER, H. W.; STRASSER, A.; TUCKER, M. E. Sequence Stratigraphy: methodology and nomenclature. **Newsletters on Stratigraphy**, Stuttgart, v. 44, n. 3, p. 173-245, Nov. 2011. Specia Issue.

COLLINSON, J.D. The sedimentology of the Grindslow Shales and the Kinderscout Grit: a deltaic complex in the Namurian of northern England. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, v. 39, p. 194-221, Mar. 1969.

DUNCAN, R. A.; HOOPER P. R.; REHACEK, J.; MARSH, J. S.; DUNCAN, R. The timing and duration of the Karoo igneous event southern Gondwana.

Journal of Geophysical Research, Washington, DC, v. 102, n. B8, p. 18127-18138, Aug. 1997.

FACCINI, U. F. **Estratigrafia do Permo-Triássico do Rio Grande do Sul: estilos deposicionais versus espaço de acomodação**. 2000. 322 f. Tese (Doutorado)– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2000.

FACCINI, U. F.; ZERFASS, H.; GARCIA, A. J. The Upper Permian-Triassic stratigraphy and petrologic approach to the SE Paraná Basin, Southern Brazil: depositional styles versus base level changes. In: EPICONTINENTAL TRIASSIC INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 1., 1998, Halle. **Abstracts...** Halle: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1998. p. 47-48.

FERRANDO, L. A. Y.; ANDREIS, R. R. Nueva estratigrafía en el Gondwana de Uruguay. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDROCARBUROS, 1., 1986, Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires: Regional Association of oil, gas and biofuels sector companies in Latin America and the Caribbean, 1986. p. 295-323.

FERREIRA, F. J. F. Alinhamentos Estruturais-Magnéticos da Região Centro-Oriental da Bacia do Paraná e seu Significado Tectônico. In: **Geologia da Bacia do Paraná**: reavaliação da potencialidade e prospectividade em hidrocarbonetos. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1982. (Publicações Científicas do IPT, v. 12). p. 143-166.

FERREIRA, F. J. F.; MONMA, R.; CAMPANHA, G. A. C.; GALLI, V. L. An estimate of the degree of crustal extension and thinning associated with the Guapiara Lineament based on aeromagnetic and gravimetric modelling **Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Série Científica**, São Paulo, v. 20, p. 69-70, 1989.

FRANÇA, A. B.; ARAÚJO, L. M.; POTTER, P. E. Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America and Comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA. **Hydrogeology Journal**, Heidelberg, v. 7, n. 3, p. 317-336, June 1999.

GALLOWAY, W. E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units.

American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Tulsa, v. 73, n. 2, p. 125-142, Feb. 1989.

GAMA JR., E. A sedimentação do Grupo Passa Dois (exclusive Formação Irati): um modelo geomórfico. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 1-16, 1979.

GAMERMANN, N. Formação Rosário do Sul. **Pesquisa em Geociências**, São Paulo, v. 2, p. 5-36, dez. 1973.

GIANNINI P. C. F.; SAWAKUCHI, A. O.; FERNANDES, L. A.; DONATTI, L. M. Paleoventos e paleocorrentes subaquosas do sistema deposicional Pirambóia nos estados de São Paulo e Paraná, Bacia do Paraná: estudo baseado em análise estatística de dados azimutais. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 282-292, 2004.

GÓES, A. M. O.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 57-67, jan./mar. 1994.

GORDON JR., M. **Classificação das formações gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: DNPM, Divisão de Geologia e Mineralogia, 1947. p. 1-20. (Notas Preliminares e Estudos, v. 38).

HANCOX, P. J. **Stratigraphic, sedimentological and palaeoenvironmental synthesis of the Beaufort-Molteno contact in the Karoo Basin**. 1998. 380 f. Thesis (PhD)–University of the Witwatersrand, Faculty of Science, Joanesburgo, 1998.

HOLZ, M.; SCHERER, C. M. S. Sedimentological and paleontological evidence of paleoclimatic change during the South Brazilian Triassic: the register of a global trend towards a humid paleoclimate. **Zentralblatt fur Geologie und Paläontologie**, Stuttgart, v. 11-12, p. 1589-1609, 2000.

HOLZ, M.; SOARES, A. P.; SOARES, P. C. Preservation of aeolian dunes by pahoehoe lava: an example from the Botucatu Formation (Early Cretaceous) in Mato Grosso do Sul state (Brazil), western margin of the Paraná Basin in South America. **Journal of South American Earth Science**, Amsterdam, v. 25, n. 3, p. 398-404, May 2008.

HOLZ, M.; SOUTO-RIBEIRO, A. Taphonomy of the South Brazilian Triassic vertebrates. **Revista**

Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 487-490, set. 2000.

HOLZ, M.; KALKREUTH, W. Sequence stratigraphy and coal petrology applied to the Early Permian coal-bearing Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil. In: PASHIN, J. C.; GASTALDO, R. A. (Ed.). **Sequence stratigraphy, paleoclimate and tectonics of coal-bearing strata**. Tulsa: AAPG/ Energy Minerals Division, 2004. (AAPG Studies in Geology, 51). p. 147-167.

KITCHING, J. W.; RAATH, M. A. Fossils from the Elliot and Clarens formations (Karoo sequence) of the northeastern Cape, Orange Free State and Lesotho, and suggested Biozonation based on Tetrapods. **Palaeontologia Africana**, Johannesburg, v. 25, p. 111-125, 1984.

KLEPZIG, M. C. Estudo da taoflórua do Membro Morro Pelado na sua localidade-tipo. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 11, p. 225-303, dez. 1978.

LAVINA, E. L. 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...** Rio de Janeiro: SBG, 1989. p. 8.

LAVINA, E. L. **Geologia sedimentar e paleogeografia do neopermiano e eotriássico (Intervalo Kazaniano-Scitiano) da Bacia do Paraná**. 1992. 512 f. Tese (Doutorado)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

LAVINA, E. L.; BARBERENA, M. C. Anfíbios ritidos-teídeos e lidekkerinídeos da Formação Sanga do Cabral (Triássico Inferior do Rio Grande do Sul). **Iheringia, Série Geologia**, Porto Alegre, v. 10, p. 19-27, 1985.

LAVINA, E. L. C.; FACCINI, U. F.; RIBEIRO, H. J. S. A Formação Pirambóia (Permo-Triássico) no Estado do Rio Grande do Sul. **Acta Geológica Leopoldensia**, São Leopoldo, v. 38, n. 1, p. 179-197, 1993.

MARSICANO, C. A.; SMITH, R.; SIDOR, C. Tracking the Triassic-Jurassic boundary in the roof of Africa. In: PANKHUST, R.; VEIGA, G. (Ed.). **Gondwana 12: geological and biological heritage of Gondwana**. Córdoba: Academia Nacional de Ciencias, 2005. p. 240.

MARTINS, L. C.; WILDNER, W.; HARTMANN, L. A. Estratigrafia dos derrames da Província Vulcânica Paraná na região oeste do Rio Grande do Sul, Brasil, com base em sondagem, perfilagem gamaespectrométrica e geologia de campo. **Pesquisas em Geociências**, v. 38, n. 1, p. 15-27, jan./abr. 2011.

MENDES, J. C. Lamelibrânquios permianos do oólito de Angatuba, Estado de São Paulo (Formação Corumbataí). **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 37-56, 1962.

MILANI, E. J. Intraplate tectonics and the evolution of the Paraná Basin, S Brazil. In: DE WIT, M. J.; RANSOME, I. D. (Ed.). **Inversion tectonics of the Cape Fold Belt, Karoo and Cretaceous basins of Southern Africa**. Rotterdam: Balkema, 1992. p. 101-108.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, nov. 2006/maio 2007.

MILANI, E. J.; RAMOS, V. A. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 527-544, 1998.

MILANI, E. J.; RANGEL, H. D.; BUENO, G. V.; STICA, J. M.; WINTER, W. R.; CAIXETA, J. M.; NETO, O. C. P. Bacias Sedimentares Brasileiras - Cartas Estratigráficas. **Boletim de Geociências Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 183-205, nov. 2006/maio 2007.

MILANI, E. J.; FACCINI, U. F.; SCHERER, C. M. S.; ARAUJO, L. M.; CUPERTINO, J. A. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. **Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Série Científica**, São Paulo, v. 29, p. 125-173, 1998.

MIZUSAKI, A. M. P.; THOMAZ FILHO, A. O Magmatismo Pós-Paleozóico no Brasil. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B.B. (Ed.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 282-291.

- MODESTO, S. P.; BOTHA-BRINK, J. A burrow cast with *Lystrosaurus* skeletal remains from the Lower Triassic of South Africa. **Palaios**, Tulsa, v. 25, n. 4, p. 274-281, 2010.
- PEATE, D. W. The Paraná-Etendeka province. In: MAHONEY, J. J.; COFFIN, M. F. (Ed.). **Large Igneous Provinces**: continental, oceanic, and planetary flood volcanism. Washington, DC: American Geophysical Union, 1997. p. 217-245. (Geophysical Monograph Series, v. 100).
- PEREA, D.; SOTO, M.; VEROSLAVSKY, G.; MARTÍNEZ, S.; UBILLA, M. A Late Jurassic fossil assemblage in Gondwana: Biostratigraphy and correlations of the Tacuarembó Formation, Parana Basin, Uruguay. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v. 28, n. 2, p. 168-179, Aug/Set. 2009.
- PIÑEIRO, G.; ROJAS, A.; UBILLA, M. A new procolophonoid (Reptilia, Parareptilia) from the Upper Permian of Uruguay. **Journal of Vertebrate Paleontology**, London, v. 24, n. 4, p. 814-821, 2004.
- PORTELA FILHO, C. V.; FERREIRA, F. J. F. Estimativas das taxas de extensão crustal da região central do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná) com base em modelagens aeromagnéticas. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 8., 2003, Rio de Janeiro. **Anal...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 2003.
- RAMOS, V. A. Late Proterozoic - Early Paleozoic of South America: a collisional history. **Episodes**, Bangalore, v. 11, n. 3, p. 168-174, 1988.
- RAMOS, V. A. Rasgos estructurales del territorio argentino. 1. Evolucion tectonica de la Argentina. In: CAMINOS, R. (Ed.). **Geología Argentina**. Buenos Aires: Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales, 1999. p. 715-759. (Anales, 29).
- ROHN, R. **Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná**. 1994. 250 f. Tese (Doutorado)–Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- ROHN, R. The Passa Dois Group (Paraná Basin, Permian): investigations in progress. In: WORKSHOP - PROBLEMS IN WESTERN GONDWANA GEOLOGY, SOUTH AMERICA-AFRICA CORRELATIONS: DU TOIT REVISITED, 1., 2007, Gramado. **Extended Abstracts...** Gramado: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/PETROBRAS, 2007. p. 151-157.
- SANFORD, R. M.; LANGE, F. W. Basin-study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, south Brazil. **AAPG Bulletin**, Tulsa, v. 44, n. 8, p. 1316-1370, 1960.
- SANTA ANA, H. B.; VEROSLAVSKY, G. La tectosecuencia volcanosedimentaria de la cuenca Norte de Uruguay. In: VEROSLAVSKY, G.; UBILLA, M.; MARTÍNEZ, S. **Cuencas sedimentarias de Uruguay**. Montevideo: Sociedad Uruguaya de Geología, 2004. p. 53-76.
- SANTOS, R. V.; SOUZA, P. A.; ALVARENGA, C. J. S.; DANTAS, E. L.; PIMENTEL, E. L.; OLIVEIRA, C. G.; ARAÚJO, L. M. Shrimp U-Pb Zircon Dating and Palynology of Bentonitic Layers from the Permian Irati Formation Parana Basin, Brazil. **Gondwana Research**, Osaka, v. 9, n. 4, p. 456-463, June 2006.
- SCHERER, C. M. S. Preservation of aeolian genetic units by lava flows in the Lower Cretaceous of Paraná Basin, Southern Brazil. **Sedimentology**, Oxford, v. 49, n. 1, p. 97-116, Feb. 2002.
- SCHERER, C. M. S.; FACCINI U. F.; LAVINA, E. L. Arcabouço Estratigráfico do Mesozoico da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/URGS, 2000. p. 335-354.
- SCHERER, C. M. S.; GOLDBERG, K. Palaeowind pattern during the latest Jurassic–earliest Cretaceous in Gondwana: evidence from eolian cross-strata of the Botucatu Formation, Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Amsterdam**, v. 250, n. 1/4, p. 89-100, June 2007.
- SCHERER, C. M. S.; LAVINA, E. L. C. Sedimentary cycles and facies architecture of eolian–fluvial strata of the Upper Jurassic Guará Formation, Southern Brazil. **Sedimentology**, Oxford, v. 52, n. 6, p. 1323-1341, Dec. 2005.
- SCHERER, C. M. S.; LAVINA, E. L. C. Stratigraphic evolution of a fluvial–eolian succession: the example of the Upper Jurassic–Lower Cretaceous Guará and Botucatu formations, Paraná Basin, Southernmost Brazil. **Gondwana Research**, Osaka, v. 9, n. 4, p. 475-484, June 2006.

- SCHULTZ, C. L.; SCHERER, C. M. S.; BARBERENA, M. C. Biostratigraphy of southern Brazilian middle-upper Triassic. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 495-498, set. 2000.
- SLOSS, L. L. Sequences in the cratonic interior of North America. **Geological Society of America Bulletin**, Tulsa, v. 74, n. 2, p. 93-114, 1963.
- SOARES, A. P.; SOARES, P. C.; BETTÚ, D. F.; HOLZ, M. Compartimentação estrutural da Bacia do Paraná: a questão dos lineamentos e sua influência na distribuição do Sistema Aquífero Guarani. **Geociências**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 297-311, 2007a.
- SOARES, A. P.; SOARES, P. C.; BETTÚ, D. F.; HOLZ, M. Variabilidade espacial no Sistema Aquífero Guarani: controles estruturais e estratigráficos. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 51-64, 2007b.
- SOARES, A. P., SOARES, P. C., HOLZ, M. Correlações conflitantes no limite permo-triássico no o contato entre duas superseqüências e implicações na configuração espacial do Aquífero Guarani. **Pesquisas em Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 115-133, 2008a.
- SOARES, A. P.; SOARES, P. C.; HOLZ, M. Heterogeneidades hidroestratigráficas no Sistema Aquífero Guarani. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 4, p. 600-619, dez. 2008b.
- SOARES, P. C. **O mesozóico gonduânico no Estado de São Paulo**. 1973. 152 f. Tese (Doutorado)–Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1973.
- SOARES, P. C. Elementos estruturais da parte Nordeste da Bacia do Paraná: Classificação e gênese. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, p. 107-121.
- SOARES, P. C. Divisão estratigráfica do Mesozóico no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 5, n. 4, p. 229-251, 1975.
- SOARES, P. C. **Tectônica sinsedimentar cíclica na Bacia do Paraná**: controles. 1992. 131 f. Tese (Professor Titular)–Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.
- SOARES, P. C.; BARCELLOS, P. E.; CSORDAS, S. M. **Análise, interpretação e integração de lineamentos a partir de imagens (Radar-Landsat) e suas relações com a tectônica da Bacia do Paraná**. São Paulo: Paulipetro/Consórcio CESP/IPT, 1982. Relatório RT-342/82.
- SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B. Aspectos Regionais da Estratigrafia da Bacia do Paraná no seu Flanco Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., 1973, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, 1973. v. 1. p. 243-256.
- SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J. Tectonic cycles and sedimentary sequences in the Brazilian intracratonic basins. **Geological Society of America Bulletin**, v. 89, p. 181-191, 1978.
- SPALLETTI, L. A. Evolución de las cuencas sedimentarias. In: ARTABE, A. E.; MOREL, E. M.; ZAMUNER, A. E. (Ed.). **El Sistema Triásico en la Argentina**. La Plata: Fundación Museo de La Plata “Francisco P. Moreno”, 2001. p. 81-101.
- STRUGALE, M., ROSTIROLLA, S. P., MANCINI, F., BARTOSZECK, M. K. Deformação transpressiva penecontemporânea Formação Rio do Rastro (Permiano da Bacia do Paraná) na região da Serra do Cadeado (PR). **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 137-148, nov. 2012/maio 2013.
- TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, S. E.; MANTOVANI, M. M. S. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology. **Earth Planetary Science Letters**, Amsterdam, v. 121, n. 3/4, p. 333-348, Feb. 1994.
- VAIL, P. R.; MITCHUM, R. M.; THOMPSON, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: PAYTON, C. E. (Ed.). **Seismic stratigraphy**: applications to hydrocarbon exploration. Tulsa: AAPG, 1977. (Geological Society Memoirs, v. 26). p. 63-81.
- VAZ, P. T.; REZENDE, N. G. A. M.; WANDERLEY FILHO, J. R.; TRAVASSOS, W. A. S. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, nov. 2006/maio 2007.

VIEIRA, A. J. Geologia do centro e nordeste do Paraná e centro sul de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., 1973, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, 1973. v. 3. p. 259-277.

WALKER, R. G. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: WALKER, R. G.; JAMES, N. P. (Ed.). **Facies models: response to sea-level change.** St John's: Geological Association of Canada, 1992. p 1-14.

WASHBURNE, C. W. **Petroleum geology of the State of São Paulo.** São Paulo: Comissão Geographica e Geológica, 1930. 272 p. (Boletim, 22).

WU, F. T.; SOARES, P. C. Minerais pesados nas formações Pirambóia e Boucatu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. v. 2, p. 119-127.

ZALÁN, P. V. Evolução Fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Ed.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.** São Paulo: Beca, 2004. p. 595-612.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. Tectônica e Sedimentação da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3., 1987, Curitiba.

Atas... Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 1987. p. 441-474.

ZERFASS, H. **História tectônica e sedimentar do Triássico da Bacia do Paraná (Rio Grande do Sul, Brasil) e comparação geológica com as bacias de Ischigualasto e de Cuyo (Argentina).** 2003. 191 f. Tese (Doutorado)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ZERFASS, H.; CHEMALE JR., F.; LAVINA, E. Tectonic control of the Triassic Santa Maria Supersequence of the Paraná Basin, Southernmost Brazil, and its correlation to the Waterberg Basin, Namibia. **Gondwana Research**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 163-176, Apr. 2005.

ZERFASS, H.; GARCIA, A. J. V.; SUSCZYNSKI, A. M.; LAVINA, E. L. Análise de proveniência nos arenitos neopermianos e triássicos da Bacia do Paraná na região de São Pedro do Sul (RS): uma contribuição para arquitetura estratigráfica e evolução tectono-sedimentar. **Acta Geologica Leopoldensia**, São Leopoldo, v. 23, n. 1, p. 61-84, 2000.

ZERFASS, H.; LAVINA, E. L.; SCHULTZ, C. L.; GARCIA, A. J. V.; FACCINI, U. F.; CHEMALE JR., F. Sequence-stratigraphy of continental strata of Southernmost Brazil: a contribution to Southwestern Gondwana palaeogeography and palaeoclimate. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, v. 161, n. 1/2, p. 85-105, Sept. 2003.

expanded abstract

The Paraná Basin is a large and long-lived geotectonic entity in the continental interior of Gondwana, surviving the Pangaea and finishing in the South America fragment. It occupies one and a half million square kilometers, with nearly five thousand meters of sediments and two thousand meters of stratiform mafic magmatic rocks. During the Gondwana time, the basin was two thousand kilometers from the continental margins, both passive and orogenic. Today, it is represented by the hydrographic Paraná Basin, with altitude of one hundred meters above sea level at the subsiding axis and around one thousand meters at the erosive uplifted margins.

The stratigraphic and structural records from the Triassic and Jurassic periods in the Paraná Basin involved the time of the Pangaea agglutination to breakup. The sediments are of continental origin, with a paleogeography dominated by rivers and deserts. They are analyzed throughout literature review, extensive field work along basin margins, oil and water-well log correlation, geophysical and geomorphic lineaments and seismic sections, all in the search for tectonic movement records of subsidence controls and paleogeography. The absence of marine or lacustrine horizons, very incomplete geologic records and the lack of good reference fossils impose difficulties and severe restrictions in the correlation and chronostratigraphic divisions. However, the support for potentially correlated events in marginal neighboring basins has been investigated for age reference, mainly in the Andean and South Africa basins.

The Triassic-Jurassic cratonic sequence was deposited in the interior basin after the Gondwana orogeny, on the short-lived Pangaea supercontinent. A new correlation, including neighboring basin records, is consolidated for the Triassic-Jurassic cratonic sequence (TrJ), and includes the Santa Maria, Piramboia and Botucatu formations. The TrJ sequence overlies an unconformity that cuts different units, from the Precambrian basement to rocks of late Permian or early Triassic ages. The younger pre-unconformity unit is the Sanga do Cabral Formation, which occurrence is restricted to the extreme south of the Paraná Basin, in Rio Grande do Sul and Uruguay. This formation is

*made up of eolian and braided-fluvial sandstone at its upper preserved part, hosting the *Lystrorhynchus* assemblage of the late Permian to early Triassic or Induan age. During the Neopermian, eolian sediments are common in the sub Andean basins, like Paganzo in Argentina as an extension of the Pennsylvanian-Permian sequence. The late Permian-early Triassic tectonic movements resulted in compressive deformation lasting up to the Induan (244 Ma). The orogenic movements extended to the continental interior, affecting the Sanga do Cabral and Rio do Rasto sedimentation during the basin overfill. These compressive structural elements help to establish the unconformity which represents the upper boundary of the Late Paleozoic cratonic sequence. The unconformity may be followed along outcrop belts and in the lithological and geophysical well logs in the basin interior, although some local ambiguities do exist. A major characteristic of the unconformity is the intense oxidation of Fe-minerals or laterization below it, independent of the exposed facies, giving a characteristic reddish color to the older underlying rocks from south toward north: Sanga do Cabral, Rio do Rastro, Estrada Nova, Irati, Tatui, Itararé-Aquidauana.*

In the Mid-Triassic, the extensional tectonics generated the accommodation space for the TrJ sequence. The event less visible in southern part of Paraná Basin was very pronounced in sub Andean basins. The lowest part of sequence began with grey, feldspar rich, coarse sands of a fluvial meandering system, which was generated and preserved in a small graben structure in the Santa Maria region. The cold, meandering sandy fluvial system evolved to a muddy anastomosing system in the warm climate. The fine sediments preserve the rich fossil-bearing Santa Maria Formation (230-206 Ma).

Around the Triassic-Jurassic boundary, extensive flexural uplift, gentle faulting and tilting were followed by moderate laterization and erosion. Outside the basin, continental volcanism (190-205 Ma) occurred. This upper part of TrJ sequence began with fine-medium sands, cross bedded, sparsely with conglomerate and mud red beds, typical of the desert fluvial, humid interdune and dune environments, which prevailed extensively. Clay beds with conchostracea and ostracode fossils are found, although with no possible correlation until now for the Piramboia Formation.

Upward fluvial conglomerates and eolian sands with rounded grains and very low clay content record progressive to extreme aridity, preserved in the Botucatu Formation. It was a time of regional tilting, marginal uplift and increasing transport energy up to the end of Middle Jurassic.

The desert turned to super arid. The main architectural surfaces are only dune and interdune deflation markers. Broad dune fields with sand sheets from dry interdune reworked previous sands composing a whole basin mantle of sandstone, the Botucatu Formation. At the end of the Jurassic era, these sands were progressively and entirely covered by volcanic lava in a short time interval (within

130-140 Ma). The volcanic Parana-Etendeka province and extensional tectonics, slightly clockwise rotational, prevailed during the continental breakup.

The TrJ sequence was entirely covered by huge volcanic piles associated to the Early Cretaceous Gondwana breakup. The magmatism with wide and long sills, dike swarms and faults, represents the more visible structures that deformed the basin and masked previous structures. Behind the apparent uniformity of continental fluvial and eolian deposits, the TrJ sequence is complex and heterogeneous, with different thicknesses and genetic behaviors, dominated by the continental undulation and volcanism.

autor



Paulo César Soares
Consultor Sênior

p_soares@terra.com.br

Paulo César Soares é geólogo formado (1967) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Trabalhou na Petrobras. Doutor, livre-docente (1978), pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp). Professor, chefe de departamento e coordenador de cursos (Unesp e UFPR). Pesquisador visitante em modelagem de bacias, na Northwestern University em 1976/77. Consultor independente em exploração mineral e petróleo (Cesp-IPT-SP, Docegeo-Vale, Petrobras, Votorantin, Mineropar, entre outras). Coordenou projetos de pesquisas (CNPq, Fapesp, PADCT, Finep) em evolução de bacias, recursos minerais, petróleo e meio ambiente. Realizou visitas e investigações científicas no Brasil, Argentina, Bolívia, Estados Unidos, Itália, África do Sul e China. Publicou uma centena de trabalhos em revistas científicas, incluindo Nature, GSA Bulletin, International Journal of Geosciences, Mathematical Geology e Revista Brasileira de Geociências.



Ana Paula Soares
E&P Sul-Sudeste
Unidade de Operações de Exploração e
Produção da Bacia de Santos
Ativo de Produção Sul
Gerência de Reservatórios

ana.paula.soares@petrobras.com.br

Ana Paula Soares é graduada em Geologia (2000) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), com mestrado em Geologia (2003) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e doutorado em Estratigrafia (2008) e Geologia (2008) pela UFRGS. É geóloga da Petrobras, trabalhando na área de reservatório. Tem experiência na área de geociências, com ênfase em estratigrafia, atuando principalmente nos seguintes temas: estratigrafia, sedimentologia, geologia do petróleo e hidrogeologia.



Daniel Fabian Bettú
Universidade do Estado de Santa Catarina
(Udesc)
Professor Adjunto

daniel.bettu@udesc.br

Daniel Fabian Bettú é geólogo graduado (2002) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), com mestrado (2004) e doutorado (2012) na mesma instituição. Tem experiência acadêmica nas áreas de geofísica, sensoriamento remoto, geoestatística, hidrogeologia e geologia do petróleo. Atuou em empresa privada, prestando consultoria técnica em planejamento territorial, sensoriamento remoto, geofísica (métodos potenciais e sísmica 2D e 3D), geologia do petróleo, entre outros. É professor adjunto da Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc), no Centro de Educação Superior da Foz do Itajaí (Cesfi), Departamento de Engenharia do Petróleo, onde leciona disciplinas da área de geologia do petróleo.