

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Geociências**



**Correlação cronoestratigráfica do Cinturão Triássico preservado no
Gráben Arroio Moirão (RS)**

Guilherme Nunes de Oliveira Borsa

Orientadora:

Profa. Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki

Co-Orientador:

Prof. Dr. Rualdo Menegat

Comissão Examinadora:

Profa. Dra. Caroline Thais Martinho Pozzoco (PUC-RS)

Prof. Dr. Cesar Leandro Schultz (UFRGS)

Prof. Dr. Ernesto Lavina (UNISINOS)

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Geociências

Porto Alegre, 2017

CIP - Catalogação na Publicação

Borsa, Guilherme Nunes de Oliveira
Correlação cronoestratigráfica do cinturão
triássico preservado no Gráben Arroio Moirão (RS) /
Guilherme Nunes de Oliveira Borsa. -- 2017.
43 f.

Orientadora: Ana Maria Pimentel Mizusaki.
Coorientador: Rualdo Menegat.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,
Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto
Alegre, BR-RS, 2017.

1. Bacia do Paraná. 2. Estratigrafia de
Sequências. 3. Triássico. 4. Gráben Arroio Moirão.
5. Tectônica. I. Pimentel Mizusaki, Ana Maria,
orient. II. Menegat, Rualdo, coorient. III. Título.

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Programa de Pós Graduação em Geociências, todos os professores, funcionários e colegas e ao programa CAPES/Proex pela bolsa de mestrado e oportunidade de pesquisa. A minha orientadora Ana Maria Pimentel Mizusaki e co-orientador Rualdo Menegat pela oportunidade e confiança nas minhas ideias.

.

RESUMO

A influência da tectônica do supercontinente Gondwana é registrada no Gráben Arroio Moirão (RS), um relicto sedimentar associado ao Triássico da seção contínua da Bacia do Paraná, preservado sobre o Escudo Sul-Riograndense. Entretanto, o gráben dista 150 km da seção contínua e não apresenta nenhuma correlação estratigráfica clara. Baseado em novos dados sedimentológicos, paleontológicos e em abordagem de estratigrafia de sequências nova, se propõe um arcabouço estratigráfico para o Gráben Arroio Moirão e a sua correlação com a seção contínua da Bacia do Paraná. O gráben é composto pelo empilhamento de sequências de alta frequência, com granodecrescência ascendente, definido como *flood units* em um modelo de leques terminais. O conteúdo fóssilífero corresponde à Sequência Candelária de idade Carniana, e estratigraficamente corresponde aos depósitos proximais da bacia triássica relacionados ao Escudo. As unidades do gráben estão em contato direto com o embasamento e esta superfície representa um pulso de soerguimento, que erodiu as sequências anteriores, seguido por um rebaixamento que registrou a Sequência Candelária. A reativação das estruturas herdadas do embasamento é relacionada à orogenia triássica na margem sudoeste do Gondwana e responsável pelo controle deposicional dentro do Gráben Arroio Moirão.

Palavras-Chave: Bacia do Paraná, Triássico, Gráben Arroio Moirão, Estratigrafia de Sequências, Tectônica.

ABSTRACT

The influence of Gondwana tectonics in the Triassic is registered in the Arroio Moirão Graben, a relict sedimentary unit associated with the Triassic section of Paraná Basin, preserved over the Sul-Riograndense Shield. However, this graben is 150 km far from the Paraná Basin and has no clear stratigraphic correlation with the main Triassic outcropping area. Based on new sedimentological, paleontological and sequence stratigraphy analysis, we propose a sequence stratigraphy framework for the graben units and correlation with the Triassic section of Paraná Basin. The graben has a stacking of high-frequency sequences with fining upward trend, defined as flood units in a Terminal Splay model. The fossil content corresponds to the *Hyperodapedon* assemblage zone with Carnian age. These sequences are correlated with Candelária Sequence from Paraná Basin and represent a more proximal facies-association related with a source-area from the shield. The graben units are directly overlying the basement units and this surface registers an uplift that eroded the previous sedimentary record of Paraná basin followed by a Middle Triassic basin wide subsidence. The reactivation of inherited structures from the basement was related to the southern Gondwana orogeny in Middle to Late Triassic that controlled the deposition in the Arroio Moirão Graben.

Keywords: Paraná Basin, Triassic, Arroio Moirão Graben, Sequence Stratigraphy, Tectonics.

Estrutura da Dissertação

Esta dissertação possui um capítulo introdutório que resume o Triássico do Rio Grande do Sul, explicando os problemas litoestratigráficos, a evolução do arcabouço cronoestratigráfico e como se propôs a nova abordagem utilizando os conceitos de sequência de alta frequência para depósitos continentais. A seguir, é detalhada a localização da área de estudo, seu contexto geológico, metodologia utilizada e um texto integrador. Complementa a dissertação o artigo “The Triassic belt preserved in Arroio Moirão Graben, southernmost Brazil: Depositional system, sequence stratigraphy and tectonics” – (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2017.05.002>).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa geológico simplificado do Estado do Rio Grande do Sul (modificado de Zerfass <i>et al.</i> , 2003). Retângulo vermelho representa a área de estudo. GAM = Gráben Arroio Moirão, ZFJM = Zona de Falha Jaguari Mata, ZFVR = Zona de Falha Vigia Roque, ZCDC = Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu, ZF AP = Zona de Falha Açoteia-Piquiri, ZFI = Zona de Falha de Ibaré. Retângulo vermelho detalha os domínios tectônicos do Escudo Sul Riograndense (modificado de Wildner <i>et al.</i> , 2006) mostrando a relação do Gráben Arroio Moirão com as estruturas do Embasamento.	5
Figura 2 – Arcabouço estratigráfico para o Triássico da Bacia do Paraná (modificado de Horn <i>et al.</i> , 2014).	6
Figura 3 Mapa geológico simplificado do Gráben Arroio Moirão. Unidades do embasamento e estruturas segundo Wildner <i>et al.</i> (2006). Sequência Candelária segundo Horn <i>et al.</i> (2015). Datum WGS 84 fuso 22J.	8
Figura 4 – Seção composta e arcabouço estratigráfico da Sequência Candelária (modificado de Zerfass <i>et al.</i> , 2003).	11
Figura 5 – Correlação entre a Sequência Candelária da seção contínua e do Cinturão Triássico preservado no gráben Arroio Moirão. Linhas vermelhas = limite de sequências. Linhas azuis = zonas de expansão. Di = Flora <i>Dicroidium</i> . R= Rhincossauro.	12

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	2
1.1. JUSTIFICATIVA.....	3
2. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	4
1. ÁREA DE ESTUDO.....	8
2. MÉTODOS.....	9
3. TEXTO INTEGRADOR.....	9
4. REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

O Triássico é um tema recorrente na literatura geológica do estado do Rio Grande do Sul (RS), devido ao importante conteúdo fossilífero de vertebrados e por se tratar do mais relevante registro sedimentar desse período em todas as bacias intracratônicas brasileiras. Embora estudado desde o Relatório White (1908), diversos problemas litoestratigráficos persistem até hoje, devido a uma miríade de unidades estratigráficas criadas e muitas vezes conflitantes. A primeira abordagem unificadora ocorre com a proposição de um arcabouço estratigráfico baseado nos conceitos da Estratigrafia de Sequências, proposto por Zervas (2003). Este arcabouço propôs duas sequências deposicionais de segunda ordem, Supersequências Sanga do Cabral (Triássico Inferior) e Santa Maria (Triássico Médio), sendo a Supersequência Santa Maria subdivida em três sequências deposicionais de terceira ordem (Santa Maria 1, 2 e 3). Além disso, foi proposto um modelo tectônico para essas sequências, relacionando a tectônica triássica do Gondwana com a formação de riftes intraplaca na Bacia do Paraná. A proposição de uma nova sequência de terceira ordem para a Supersequência Santa Maria (Horn *et al.*, 2014) reescreve a história deposicional do Triássico da Bacia do Paraná. Esta nova sequência situa-se entre as sequências Santa Maria 1 e 2 e possui conteúdo fossilífero único. Horn *et al.* (2014) propõe a renomeação de todas as sequências deposicionais de terceira ordem da Supersequência Santa Maria utilizando os topônimos da seção tipo de cada sequência.

A estruturação desse novo arcabouço permite a correlação do cinturão Triássico preservado sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense com a seção contínua da Bacia do Paraná. Os depósitos triássicos estão preservados no Gráben Arroio Moirão e tem sido objeto de estudo por mais de 50 anos (Tessari & Picada, 1966). Estes depósitos refletem os mesmos problemas litoestratigráficos da seção contínua da bacia do Paraná, e a falta de unificação nas unidades estratigráficas, bem como um fraco detalhamento do conteúdo fossilífero, geraram confusões acerca da idade relativa desses depósitos. A descoberta do fóssil de Rhincossauro, *Hyperodapedon* fóssil guia da Sequência Candelária, define a idade dos depósitos triássicos como Carniana.

O objetivo desta monografia é propor uma correlação do cinturão Triássico preservado no Gráben Arroio Moirão com a seção contínua da Bacia do Paraná, utilizando novas abordagens para os modelos deposicionais já propostos, novas abordagens quanto a Estratigrafia de Sequências e relacionando estes resultados com a tectônica vigente no Triássico. A compreensão dos depósitos triássicos dessa região torna-se mais clara quando interpretada à luz de uma sedimentação combinada com a atividade tectônica, onde predominam sistemas de leques efêmeros interpretados como sequências de alta frequência do tipo T-R. Estas mesmas sequências T-R são identificadas na seção contínua da Bacia do Paraná, possibilitando a correlação cronoestratigráfica com o cinturão Triássico preservado no Gráben Arroio Moirão.

1.1. JUSTIFICATIVA

Os fragmentos isolados da Bacia do Paraná sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense carecem de posicionamento estratigráfico e correlação precisa em relação as unidades contíguas dessa bacia. Um arcabouço estratigráfico de alta resolução, na forma de um estudo pormenorizado de fácies, sucessões e arquiteturas deposicionais, é um instrumento adequado para estabelecer correlações mais acuradas. Em consequência, ao entender-se melhor certos eventos que são estratigraficamente bem marcados em regiões de borda da bacia pode-se esclarecer situações que em áreas contíguas da bacia não são muito expressivas.

Nesse contexto, ressalta-se a tentativa de unificar a abordagem estratigráfica do Triássico da Bacia do Paraná. Prefere-se abordar o Triássico à luz da Estratigrafia de Sequências, seguindo a proposta de Horn (2016), deixando de utilizar as unidades conflitantes da litoestratigrafia tradicional.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Paraná, uma das maiores bacias intracratônicas do continente sul-americano, inclui porções territoriais do centro-sul brasileiro, Paraguai, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, totalizando uma área que se aproxima de 1,5 milhão de quilômetros quadrados. Possui forma oblonga com eixo maior N-S, sendo seu contorno atual definido por limites erosivos relacionados em grande parte à história geotectônica mesocenozoica do continente.

Sua história geológica gonduânica está registrada em mais de 7 mil metros de pacotes vulcano-sedimentares. Segundo Milani (1997), são identificáveis seis supersequências, separadas por discordâncias de extensão inter-regional (*sensu* *Vail et al.*, 1977), representativas de episódios tectono-sedimentares: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). As supersequências Rio Ivaí, Paraná e Gondwana I representam ciclos transgressivos-regressivos relacionados à variação do nível do mar, enquanto que Gondwana II, Gondwana III e Bauru são continentais com registro vulcânico associado.

Os afloramentos triássicos ocorrem como parte da seção contínua da Bacia do Paraná, controlados pela Zona de Falha Jaguari-Mata (Oeste) e pela Zona de Falha Vigia-Roque (Leste) e como um cinturão isolado sobre o Escudo Sul-Riograndense (Figura 1). Os afloramentos triássicos na seção contínua foram descritos primeiramente por White (1908) e Oliveira (1918) devido ao conteúdo fossilífero de paleotetrapodos de idade mesotriássica. A Formação Santa Maria foi proposta por Gordon Jr. (1947) e sua posterior divisão em Formação Santa Maria e Formação Caturrita por Andreis et al. (1980). A presença de uma fauna de paleovertebrados, que incluem *therapsidas*, *rhincossauros* e *sphenodontídeos*, estabeleceu três biozonas com idades distintas: *Therapsida* com idade Ladiniana, *Rhincosauria* com idade Carniana e *Jachaleria* com Idade Noriana (Barberena, 1977; Barberena *et al.*, 1985; Schultz, 1995; Schultz *et al.*, 2000). A sequência triássica foi depositada em ambiente

continental com sistemas deposicionais fluvio-lacustres (Holz & Souto-Ribeiro, 2000; Zerfass *et al.*, 2003; Da Rosa, 2015).

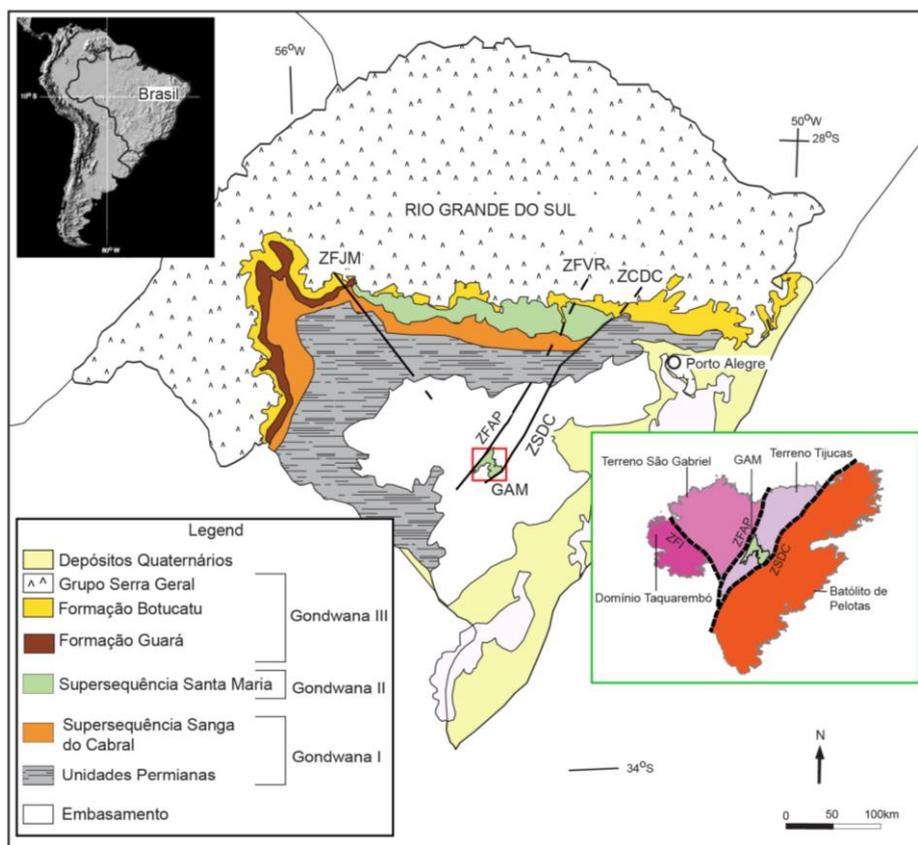


Figura 1 – Mapa geológico simplificado do estado do Rio Grande do Sul (modificado de Zerfass *et al.*, 2003). Retângulo vermelho representa a área de estudo. GAM = Gráben Arroio Moirão, ZFJM = Zona de Falha Jaguari Mata, ZFVR = Zona de Falha Vigia Roque, ZCDC = Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu, ZF AP = Zona de Falha Açoteia-Piquiri, ZFI = Zona de Falha de Ibaré. Retângulo vermelho detalha os domínios tectônicos do Escudo Sul Riograndense (modificado de Wildner *et al.*, 2006), mostrando a relação do Gráben Arroio Moirão com as estruturas do embasamento.

Zerfass (2003) propôs um arcabouço tectono-estratigráfico mais elaborado para as sucessões continentais triássicas no Rio Grande do Sul. Seu trabalho define duas supersequências deposicionais de segunda ordem, respectivamente: Sanga do Cabral (Triássico Inferior) e Santa Maria (Triássico Médio a Superior). A primeira, inclui depósitos fluviais efêmeros de baixa sinuosidade e planícies de baixo gradiente. Baseado em fósseis de tetrápodes, especialmente *Procolophonidae*, a idade Induano Superior é estimada para essa sequência (Lavina, 1982; Santana, 1992; Schultz, 1995; Silva, 1999). As associações de fácies da Supersequência Santa Maria indicam rios de baixa sinuosidade, deltas e lagos.

Horn *et al.* (2014) definiu uma nova sequência de terceira ordem para a Supersequência Santa Maria (Sequência Santa Cruz), baseado em novos dados de campo e paleontológicos. Esta sequência situa-se entre as Sequências Santa Maria 1 e 2 de Zeffass (2003). O autor também propôs uma readequação da nomenclatura das sequências nomeando-as de acordo com os topônimos da seção tipo de cada uma. Dessa forma, a Sequência Pinheiros-Chiniquá corresponde a Sequência Santa Maria 1, a nova Sequência Santa Cruz, a Sequência Candelária corresponde a Sequência Santa Maria 2 e, por último, a Sequência Mata corresponde a Sequência Santa Maria 3.

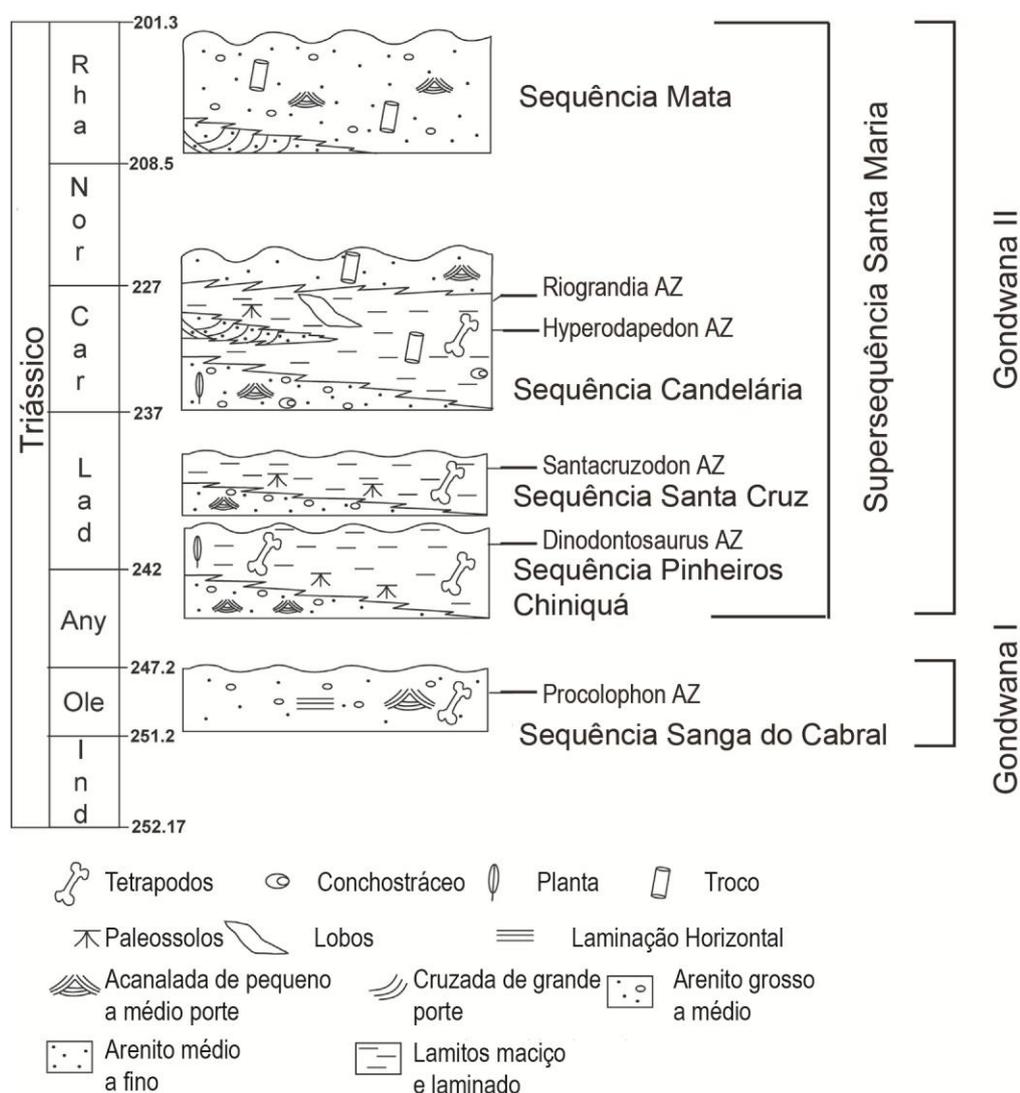


Figura 2 – Arcabouço estratigráfico para o Triássico da Bacia do Paraná (modificado de Horn *et al.*, 2014).

O cinturão Triássico preservado no Gráben Arroio Moirão (GAM) é orientado segundo as estruturas do Escudo Sul-Riograndense, que é caracterizado por falhas e dobras de direção NE herdadas da Orogenia Brasileira (900 – 530 Ma) (Chemale Jr., 2000; Hartmann *et al.*, 2007). O gráben é limitado a oeste pelo Terreno São Gabriel (Chemale Jr, 2000), a leste pelo Batólito de Pelotas (Hartmann *et al.*, 2000) e situa-se inserido no Terreno Tijucas (Jost & Bittencourt, 1980) (Figura 1).

Este cinturão Triássico era atribuído como Formação Caneleiras (Tessari & Picada, 1966), porém o desuso dessa denominação no final da década de 1990 abriu o debate para o posicionamento estratigráfico correto dessas unidades (Menegat *et al.*, 1994). A proposição de uma abordagem tectono-estratigráfica (Menegat, 1995), integrou as unidades isoladas sobre o Escudo na região de Encruzilhada do Sul. Foram caracterizadas duas sequências deposicionais correlacionáveis à Formação Rio Bonito e às formações Rio do Rasto e Sanga do Cabral. As discordâncias que separam tais sequências têm sua gênese relacionada a reativações tectônicas do embasamento, mais especificamente da Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu, durante o Permiano Superior,

Ketzer (1997) reconhece no GAM a Formação Sanga do Cabral constituída por fácies lacustres, deltaicas, fluviais e eólicas e, Formação Santa Maria, com fácies fluviais, pelitos lacustres e arenitos finos e siltitos lenticulares, deltaicos. A idade triássica já era atribuída aos depósitos GAM pelo trabalho de Faccini *et al.* (1990), que indentificou fósseis de rincossauros correlacionando-os com a Cenozona de Rincossauros.

Os trabalhos da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM) incluíram as unidades sedimentares do GAM no Grupo Rosário do Sul, o qual compreende as formações Sanga do Cabral e Santa Maria. Posteriormente, o mapa geológico da Wildner *et al.*, (2006) incluiu os depósitos do GAM na Formação Sanga do Cabral.

Lima (2016) propõe um modelo de inunditos para os depósitos Triássicos do Gráben Arroio Moirão, onde fluxos subaquosos episódicos, desconfiados e de baixa densidade que com o passar do tempo progradam desenvolvendo canais efêmeros. Com a subida do nível de base, estes fluxos progradantes são afogados e,

posteriormente, expostos. Este ciclo caracteriza uma sucessão de fácies granodecrescente ascendente atribuída como depósitos de inundito.

1. ÁREA DE ESTUDO

O Gráben Arroio Moirão é uma feição morfológica deprimida inserida no Escudo Sul-riograndense, tem extensão de 47 km na direção NW/SE e 27 km na direção NE/SW. O gráben é limitado pela Zona de Falha Açoteia-Piquiri no NW, pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu no SE e cortado ao meio pela Falha do Chapadão (Wildner *et al.*, 2006). Destacam-se duas zonas principais de afloramento de rochas triássicas, uma ao longo de Br-392 e outra no setor sudoeste do gráben. Ambas as zonas seguem estruturas NE do embasamento, estando as rochas triássicas sobrepostas ao Complexo Metamórfico Porongos.

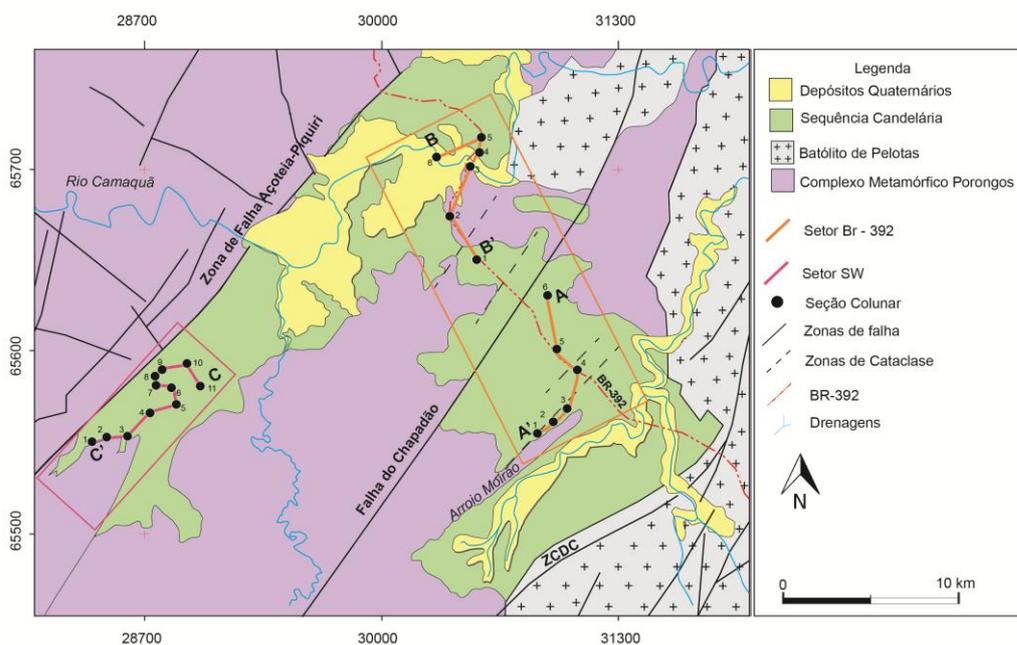


Figura 3 Mapa geológico simplificado do Gráben Arroio Moirão. Unidades do embasamento e estruturas segundo Wildner *et al.* (2006). Sequência Candelária segundo Horn *et al.* (2015). Datum WGS 84 fuso 22J.

2. MÉTODOS

Este trabalho propõe uma abordagem alternativa para as unidades triássicas da Bacia do Paraná. Embora o arcabouço de Zeffass *et al.* (2003) já use sequências deposicionais, o modelo utilizado não é o mais apropriado para sequências iminentemente continentais. Neste trabalho adota-se a metodologia de Estratigrafia de Sequências para sistemas aluvias (Martinssen *et al.*, 1999) que define dois tratos de sistema. O trato de sistema de baixa acomodação (quando há predomínio de fácies fluviais sobre fácies lacustres) e o trato de sistemas de alta acomodação (quando há predomínio de fácies lacustres sobre fácies fluviais). Foi utilizado também o conceito de sequências de alta frequência (Zecchin & Catuneanu, 2013) que permite o reconhecimento de sequências, tratos de sistemas na escala de afloramento, modelos deposicionais do tipo leque terminal (Fisher *et al.*, 2008) e o conceito de *flood units* (Plink-Björklund, 2015). A escolha dos modelos deposicionais de leque terminal e *flood units* é consistente com o clima semi-árido proposto para o Triássico (Sellwood & Valdez, 2006; Da Rosa *et al.*, 2005; Horn *et al.*, 2013). Optou-se por utilizar o modelo de Plink-Björklund (2015) em detrimento do modelo de Lima (2016) por se tratar de um modelo mais robusto para sequências com influência climática.

3. TEXTO INTEGRADOR

O resultado deste projeto de Mestrado é um artigo publicado no periódico *Journal of South America Earth Science* intitulado “Triassic belt preserved in Arroio Moirão Graben, southernmost Brazil: Depositional System, Sequence stratigraphy and tectonics”. Este texto integrador visa resumir os principais aspectos do artigo publicado e analisar a importância da proposta deste trabalho no âmbito do Triássico do Rio Grande do Sul.

O cinturão Triássico preservado no Gráben Arroio Moirão, embora com idade carniana atribuída pela presença de fósseis de Rhincossauro (Horn *et al.*, 2014), ainda carecia de relações estratigráficas claras com a seção contínua da Bacia do Paraná. O fato de se distanciar 150 km da seção triássica e estar inserido em um contexto tectônico distinto levaram a elaboração de diferentes modelos de correlação. Uma vez

que não existem superfícies correlacionáveis diretamente buscou-se uma nova abordagem, propondo um modelo sedimentar que justificasse a presença de relictos preservados e isolados sobre o Escudo Sul-Riograndense e que tivessem relação deposicional com a seção contínua da bacia. Destaca-se que o entendimento da movimentação tectônica do Escudo (Philipp *et al.*, 2013 A, B) avançou sobremaneira desde a publicação do primeiro arcabouço de estratigrafia de sequências (Zerfass *et al.*, 2003) o que permitiu entender a relação do Escudo como área fonte para o Triássico da Bacia do Paraná.

O cinturão Triássico apresenta fácies sedimentares com características proximais a área fonte como imaturidade textural, domínio de litologias grossas, baixa canalização (Lima, 2016). A seção contínua, quando comparada com o gráben, apresenta um domínio de fácies mais distais, canalizadas e com a formação de espessos depósitos de sedimento fino. Esta configuração da seção contínua é interpretada como sistemas fluviais, de lagos e deltas (Zerfass *et al.*, 2003). O que até então não havia sido proposto era a unificação destes dois ambientais como correlacionáveis, ou até mesmo contínuos à época de desenvolvimento da bacia triássica.

Um novo entendimento para o Triássico já foi proposto, onde se interpreta o Triássico da seção contínua da Bacia do Paraná como depósitos análogos aos de leques terminais (Horn, 2016). A presente pesquisa buscou expandir esse conceito de leques terminais para o cinturão Triássico, onde os depósitos do gráben são os mais proximais da bacia triássica, possuem contato direto com unidades do embasamento e ainda definiu uma estratigrafia de sequências de alta frequência e suas relações com a tectônica do Escudo.

Embora o arcabouço estratigráfico Triássico da Bacia do Paraná (Zerfass *et al.*, 2003) represente bem a sucessão de Sequências deposicionais de segunda e terceira ordem ainda lhe falta detalhamento para tratar as sequências de alta frequência. Neste trabalho, interpretamos a Sequência Candelária da seção contínua como um empilhamento de seis sequências transgressivas que definem três tratos de sistema: baixo, alto e baixo acomodamento (da base para o topo). O trato de sistema de baixa acomodação basal marca o contato basal da Sequência Candelária com a Sequência Pinheiros-Chiniquá sotoposta, apresenta camadas de areia interdigitadas com lama e

fósseis de flora *Dicroidium*. O trato de sistema de alta acomodação marca a o domínio de fácies lacustres, que em direção ao topo grada para corpos de areia sigmoidais atribuídos a deltas de pequeno porte (Zerfass *et al.* 2003). O trato de sistemas de baixa acomodação do topo marca um novo ciclo de domínio de fácies fluviais. Estes três tratos de sistemas foram interpretados neste trabalho como um ciclo completo de Transgressão – Regressão para a Sequência Candelária (Figura 4).

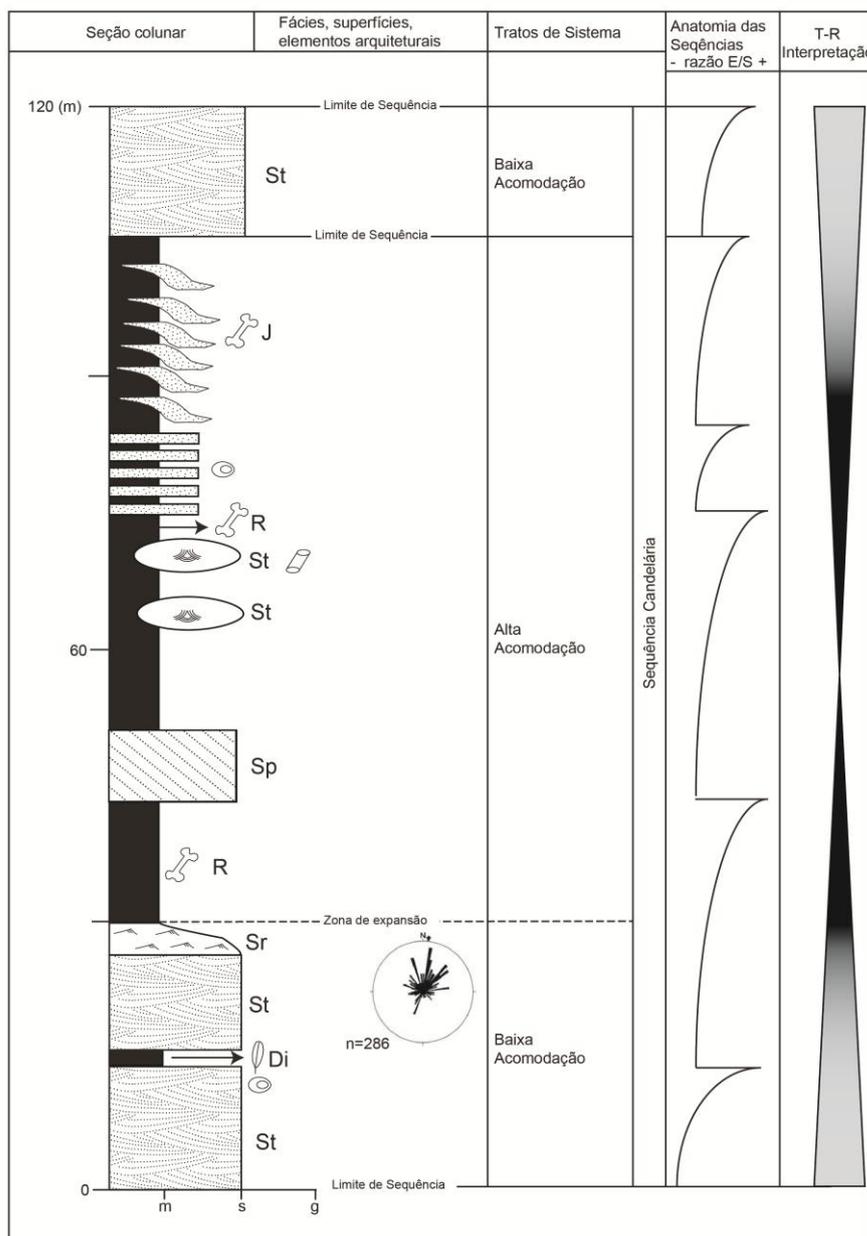


Figura 4 – Seção composta e arcabouço estratigráfico da Sequência Candelária (modificado de Zerfass *et al.*, 2003).

Interpreta-se o cinturão Triássico como uma sucessão de até cinco sequências de alta frequência, com padrão transgressivo seguido por uma rápida regressão. Este padrão define estas sequências como *flood units* em um modelo deposicional de leques terminais. O cinturão está em contato direto com as unidades do embasamento representando uma superfície chave de correlação. Dessa forma, o empilhamento de sequências de alta frequência do cinturão foi correlacionado ao trato de sistemas de baixa acomodação basal da Sequência Candelária. Ambos possuem o mesmo conteúdo fóssilífero (Rhincossauro e flora *Dicroidium*) e as superfícies basais (contato com o embasamento para o cinturão e o limite das sequências Candelária e Pinheiros-Chiniquá para a seção contínua) são equivalentes (Figura 5).

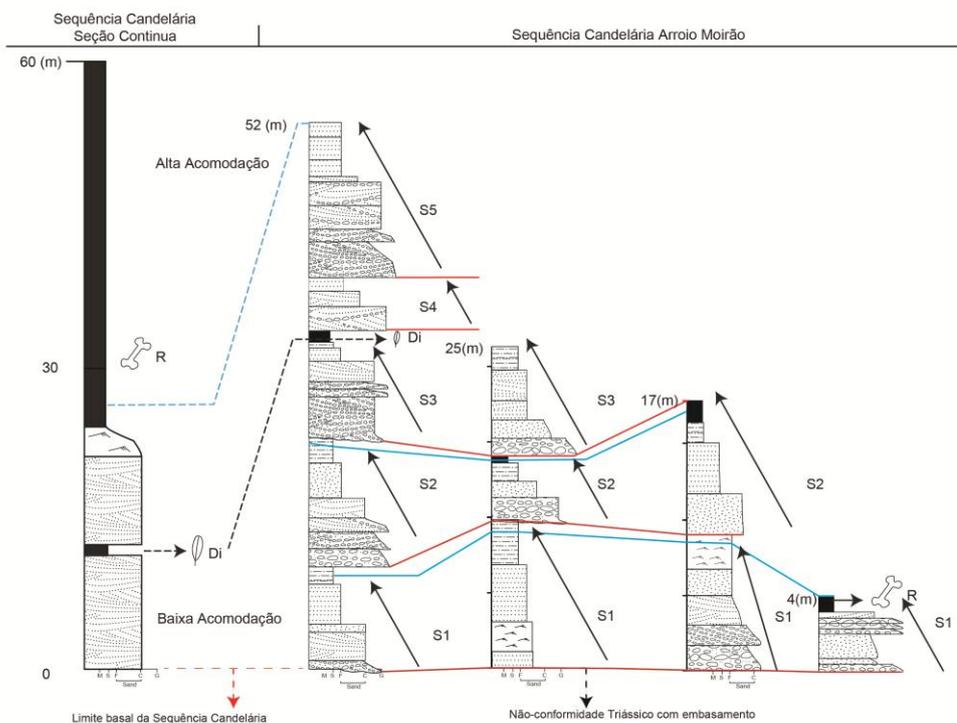


Figura 5 – Correlação entre a Sequência Candelária da seção contínua e do Cinturão Triássico preservado no gráben Arroio Moirão. Linhas vermelhas = limite de sequências. Linhas azuis = zonas de expansão. Di = Flora Dicroidium. R= Rhincossauro.

A formação da bacia Triássica é uma resposta à reativação das estruturas herdadas do embasamento, onde o campo tensional intraplaca é uma resposta as tensões geradas pela zona de cisalhamento na margem sudoeste do Gondwana (Zerfass *et al.*, 2004). Dessa forma, as zonas de falha Açoteia-Piquiri, Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu e Falha do Chapadão foram reativadas e controlaram o desenvolvimento e a sedimentação da Sequência Candelária no Gráben Arroio Moirão.

Embora o modelo proposto onde os depósitos do cinturão Triássico correspondem aos depósitos proximais da Sequência Candelária mais estudos se fazem necessários. Uma unificação de modelos de estratigrafia de sequências para toda a bacia triássica, uma revisão detalhada dos afloramentos da seção contínua, utilizando o conceito de sequências de alta frequência, bem como um trabalho aprofundado de prospecção fossilífera no Gráben Arroio Moirão amarrariam ainda melhor a correlação cronoestratigráfica do Triássico. Este trabalho contribui para novas discussões sobre o Triássico da Bacia do Paraná e, longe de tentar resolver todas as questões, provoca uma nova abordagem e contribui para um debate recente que é a problemática da litoestratigrafia quando comparada à Estratigrafia de Sequências.

4. ARTIGO

Journal of South American Earth Sciences 77 (2017) 123–140



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of South American Earth Sciences

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jsames

The Triassic belt preserved in Arroio Moirão Graben, southernmost Brazil: Depositional system, sequence stratigraphy and tectonics

G.N.O. Borsari^{a,*}, A.M.P. Mizusaki^b, R. Menegat^b^a UFRGS, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Av. Bento Gonçalves 9500, Campus do Vale, 91509-900, Porto Alegre, RS, Brazil^b UFRGS, Instituto de Geociências, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Av. Bento Gonçalves 9500, Campus do Vale, 91509-900, Porto Alegre, RS, Brazil

article info

Article history:
Received 9 January 2017
Received in revised form
3 May 2017
Accepted 3 May 2017
Available online 4 May 2017

Keywords:
Paraná Basin
Triassic
Arroio Moirão Graben
Sequence stratigraphy
Tectonics

abstract

The influence of Gondwana tectonics in the Triassic is registered in the Arroio Moirão Graben, a relict sedimentary unit associated with the Triassic section of Paraná Basin, preserved over the Sul-Riograndense Shield. However, this graben is 150 km far from the Paraná Basin and has no clear stratigraphic correlation with the main Triassic outcropping area. Based on new sedimentological, paleontological and sequence stratigraphy analysis, we propose a sequence stratigraphy framework for the graben units and correlation with the Triassic section of Paraná Basin. The graben has a stacking of high-frequency sequences with fining upward trend, defined as flood units in a Terminal Splay model. The fossil content corresponds to the Hyperodapedon assemblage zone with Carnian age. These sequences are correlated with Candelária Sequence from Paraná Basin and represent a more proximal facies-association related with a source-area from the shield. The graben units are directly overlying the basement units and this surface registers an uplift that eroded the previous sedimentary record of Paraná Basin followed by a Middle Triassic basinwide subsidence. The reactivation of inherited structures from the basement was related to the southern Gondwana orogeny in Middle to Late Triassic that controlled the deposition in the Arroio Moirão Graben.

© 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The relationship between sedimentation and tectonics is widely applied to understand the chronostratigraphy of sedimentary basins. The tectonic evolution of Gondwana directly influenced the Phanerozoic sedimentary register for South America and African basins. The southwestern Gondwana Triassic basins register in Argentina and Chile several rift basins overlying basement units (Uliana et al., 1989; Ramos and Basei, 1997). The Triassic rift basins of Africa, such as Waterberg basin in Namibia, are controlled by the reactivation of the Brasiliano-Pan-African age Damara-Katanga-Mozambique mobile belt, overlying cratonic units and correlative to the Triassic basin from Paraná Basin (Zerfass et al., 2005). In Congo Basin, the Triassic deposits are less precisely known,

although they are relatively thick (up to 1400 m) and related to semi-arid fluvial and aeolian equivalents of Brazilian Triassic (Linol, 2013). In a similar manner, the Paraná Basin in Brazil depicts the same intricate relation with the basement tectonics.

The Paraná Basin was emplaced over distinct geotectonic domains, including cratonic terrains with Archean and Paleoproterozoic ages and Neoproterozoic mobile belts, responsible for the assemblage of Gondwana that compose a framework of lineaments and crustal discontinuities (Zalán et al., 1990; Holz et al., 2006). This relationship with the basement tectonics is expressed in the Triassic interval, which only occurs in the southernmost part of the Paraná Basin, Rio Grande do Sul state, where intracontinental rifts follow inherited structures from the basement (Zerfass et al., 2003, 2004).

There is a controversy around the control mechanisms of Triassic sedimentation (Da Rosa and Faccini, 2005; Horn et al., 2014). Although limited by faults, the Triassic in Rio Grande do Sul state does not display any direct structural relationship with basement units, its outcropping area is conditioned by later

* Corresponding author.
E-mail addresses: guilhermeborsa@gmail.com (G.N.O. Borsari), ana.mizusaki@ufrgs.br (A.M.P. Mizusaki), rualdo.menegat@ufrgs.br (R. Menegat).

tectonics and there is no clear rift stacking pattern. Additional sedimentological and structural information from the Triassic deposits of Paraná Basin at different sites are needed to solve these questions. We thus examined the outcrop belt of Triassic rocks from Arroio Moir Graben (AMG) preserved over the Sul-Riograndense Shield. AMG is a key example for chronostratigraphical correlation because it occurs inserted in the shield, is conditioned to its tectonic framework and lies 150 km from the main outcropping area. The objective of this paper is to propose a depositional model for the AMG, its relationship with the Gondwana tectonics in the Middle to Late Triassic and establish a correlation between the outcrops of Arroio Moir Graben and the Paraná Basin main outcropping area.

2. Geological context

The 7000 m of volcanic-sedimentary record of Paraná Basin comprise most of Gondwana's history. Milani et al. (1998) defined six Supersequences (sensu Sloss, 1963) that represent tectonic-

sedimentary events which are Rio Iv (Ordovician to Silurian), Paraná (Devonian), Gondwana I (Carboniferous to Early Triassic), Gondwana II (Middle to Upper Triassic), Gondwana III (Early Jurassic to Upper Cretaceous) and Bauru (Upper Cretaceous) classifying them as tectono-sedimentary cycles of second-order (tens of Ma, sensu Vail, 1977).

The Paraná Basin was deposited over an Archean to Paleoproterozoic cratonic basement and Neoproterozoic orogenic belts formed during the Brasiliano Orogeny (900–530 Ma), responsible for the Gondwana assemblage. The reactivation of basement structures is related with tectonic events of basin-wide range, controlling the Paraná Basin structure, leaving an overprint in sedimentary processes, also controlling the subsidence rates and shifts in the depocenters throughout the basin history (North fleet et al., 1969; Almeida, 1969, 1981; Soares et al., 1974; Cordani et al., 1984; Zalan et al., 1987; Milani, 1997; Milani and Ramos, 1998).

The Triassic exposure occurs as part of the continuous Paraná Basin outcropping area (Permian to Cretaceous), controlled by the

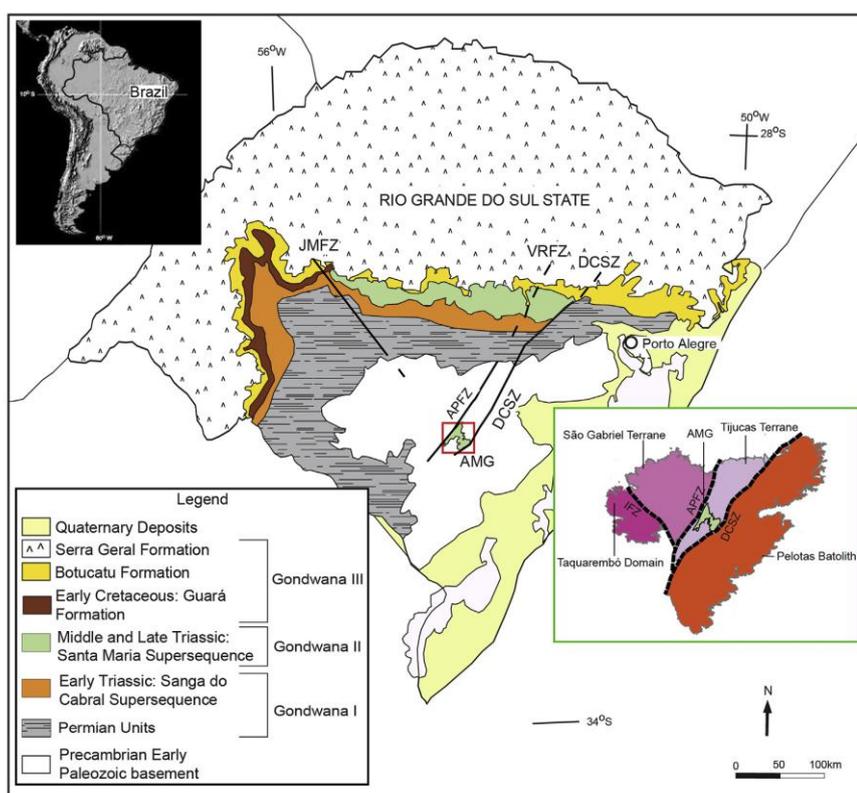


Fig. 1. Simplified geological map of the Rio Grande do Sul State, Southernmost Brazil (modified after Zerfass et al., 2003). Red square represents the studied area (detailed in Fig. 3). AMG = Arroio Moir Graben, JMFZ = Jaguar Mata Fault Zone, VRFZ = Viga Roque Fault Zone, DCSZ = Dorsal de Canguçu Shear Zone, APFZ = Aeteia-Piquiri Fault Zone, DFFZ = Dom Feliciano Fault Zone. Green square details the tectonic domains of Precambrian to Early Paleozoic basement (modified from Wildner et al., 2006) displaying the relationship between the Arroio Moir Graben and the basement domains. IFZ = Ibar Fault Zone, DCSZ = Dorsal de Canguçu Shear Zone, APFZ = Aeteia-Piquiri Fault Zone. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Jaguari-Mata Fault Zone to the west and Vigia-Roque Fault Zone to the east and as isolated outcrops preserved over the shield (Fig. 1). The Triassic in the continuous package was first described as Santa Maria beds (White, 1908; Oliveira, 1918) because of the presence of Brazilian palaeotetrapod-bearing strata from Middle and Late Triassic. Santa Maria Formation was proposed by Gordon (1947) and the further subdivision into two units, Santa Maria and Caturrita formation, was proposed by Andreis et al. (1980) . The unique presence of paleovertebrates, including therapsids, rhynchosaurs, dinosaurs and sphenodontids, led to the establishment of three biozones: Therapsid with Ladinian age, Rhynchosaur of Carnian age and the Jachaleria level with Norian age (Barberena, 1977; Barberena et al., 1985; Schultz, 1995; Schultz et al., 2000). The Triassic sequences were deposited in a continental, fluvio-lacustrine setting (Holz and Souto-Ribeiro, 2000; Zerfass et al., 2003; Da Rosa, 2015).

The first published Triassic sequence stratigraphy framework for the Paraná Basin integrated previous paleontological and geological data (Zerfass et al., 2003). The continental Triassic succession of Paraná Basin comprises two second-order depositional sequences: the Sanga do Cabral Supersequence (Early Triassic) and Santa Maria (Middle to Late Triassic) Supersequence. The Sanga do Cabral Supersequence (Early Triassic) comprises ephemeral fluvial deposits with low sinuosity and low gradient flood plains (Zerfass et al., 2003). The Late Induan age for this supersequence is based on paleovertebrate fauna from Procolophonidae assemblage-zone (Lavina, 1982; Santana, 1992; Schultz, 1995; Silva, 1999). The Santa Maria Supersequence is a second-order sequence divided into three third order sequences: Santa Maria 1 (Ladinian age), Santa Maria 2 (Carnian age) and Santa Maria 3 (Rhaetian). This framework establishes the correlation of the Triassic sequence stratigraphy with the lithostratigraphy units and the biozones

(Table 1).

Santa Maria 1 sequence corresponds to gravel bar and sandy bedform, attributed to high energy, low sinuosity rivers and displays north-northeastward paleocurrent flow overlain by massive or laminated red mudstone interpreted as shallow lake deposits. The lower fluvial and deltaic facies was interpreted as lowstand systems tract with a transgressive surface on top. The mudstone marks and positive base-level ratio characterize this interval as transgressive system tract (Zerfass et al., 2003).

Santa Maria 2 sequence is up to 200 m thick, composed of sandstone, with trough cross bedding, overlain by mudstone. Sand bedforms are the most common architectural element although downstream accretion was also described. The paleocurrent flow of fluvial sandstone has NNE direction with some outcrops displaying SW trends. Mudstone lenses interpreted as flood plain deposits are interlayered with fluvial sandstone. They contain fossil remains of the Dicroidium Flora (Guerra-Sommer et al., 1999; Guerra-Sommer and Klepzig, 2000) and reptilian bones from the Carnian Rhynchosaur Cenozoone (Barberena, 1977; Schultz, 1995; Schultz et al., 2000). A coarsening-upward trend (equivalent to Caturrita Formation of Andreis et al., 1980) transitionally replaces the transgressive mudstones which compose the highstand systems tract. This interval contains isolated, small-scale trough cross-bedded sandstone lenses that are interpreted as ribbon fluvial channels. Rhythmites and sigmoidal, massive or climbing cross-laminated sandstone bodies are also present. They were interpreted as a lacustrine-deltaic depositional system with coarsening upward trend. Sandstone occurs as narrow, massive or stratified (horizontal and trough cross-bedding) lenses interpreted as amalgamated sandstone bodies related to high width/depth ratio channels. This succession reveals a decrease in the accommodation space and shallowing of the lacustrine phase. The fluvial sandstones

Table 1

Chronostratigraphic diagram for the Paraná Basin units. Ages after Cohen et al., 2015 . Lithostratigraphy after Andreis et al. (1980) , Sequence Stratigraphy after Zerfass et al. (2003) . Triassic biozones after Barberena, 1977; Barberena et al., 1985; Scherer, 1994; Schultz, 1995; Schultz et al., 2000 . Supersequences after Milani et al., 2007 .

Ages (Ma) (After Cohen et al., 2015)	Lithostratigraphy (Andreis et al., 1980)	Sequence Stratigraphy (Zerfass, 2003)	Triassic Biozones *	Supersequence (Milani, 2007)	
Cretaceous 145	Botucatu Fm.			Gondwana III	
Jurassic	Guar Fm.				
201					
Rhaetian	Rosário do Sul Group	Santa Maria Supersequence	SM3	Gondwana II	
Norian			SM2		Jachaleria
Carnian			SM1		Rhynchosaur
227		Alemoa Member			
237		Passo das Tropas Member			
Ladinian					
242					
Anisian					
247	Sanga do Cabral Member	Sanga do Cabral Supersequence	Procolophon	Gondwana I	
Olenekian					
251					
Induan					
252					

* Barberena, 1977; Barberena et al., 1985; Scherer et al., 1995; Schultz, 1995; Schultz et al., 2000

corresponds to the lowstand system tract with a transgressive surface on top, marked by the presence of overlying mudstones. These mudstones are interpreted as shallow lake deposition attributed to transgressive system tract. The coarsening upward succession interpreted as lacustrine deltaic depositional systems stands for the highstand system tract.

The Santa Maria 3 is composed by unconformity-bound strata that occur at the top of Santa Maria Supersequence. It is composed of trough cross-bedding and conglomeratic sandstones, with lenses of intraformational diamictite, interpreted as gravity flow architectural elements, with paleocurrent pointing northward and composing a lowstand systems tract.

The Triassic interval in Paraná Basin displays two distinct phases of sedimentation (Zerfass et al., 2005). The first phase, Early Triassic, has wide alluvial basins and corresponds to Sanga do Cabral Supersequence. This supersequence is represented by poorly channelized braided rivers with source-areas in the Gondwanides units under compressional tectonic setting. The second phase is characterized by intracontinental extensional basins during Middle and Late Triassic. The development of this basin is attributed to transtensional stresses within a dextral shear

zone related to the southern branch of the Gondwanides orogeny. The formation of the bulged structure of Rio Grande Arch confined the Santa Maria Supersequence sediments to the north of the bulge (Philipp et al., 2013a). U-Pb ages in the Santa Maria 2 sequence provides a minimum depositional age of 236 ± 1.5 Ma (Philipp et al., 2013b).

Based on new field and paleontological data, Horn et al. (2014) defined a new third order sequence based on the Santacruzodon Assemblage Zone (Soares et al., 2011). The new Santa Cruz Sequence is located between Santa Maria 1 and Santa Maria 2 sequences of Zerfass et al. (2003). The sequence names used in Zerfass et al. (2003) were changed to accommodate the new sequence proposed according to the toponyms of type sections as follows: Santa Maria 1 to Pinheiros-Ciniquá Sequence; the new Santa Cruz Sequence; Santa Maria 2 to Candelária Sequence, Santa Maria 3 to Mata Sequence (Fig. 2).

The AMG outcropping belt of sedimentary rocks is inserted in the tectonic framework of the Sul-Riograndense Shield, which is characterized by faults and folds with NE trend, inherited from the Brasiliano Orogeny (900–530 Ma) (Chemale, 2000; Hartmann et al., 2007). This framework is structured in three units: Pelotas

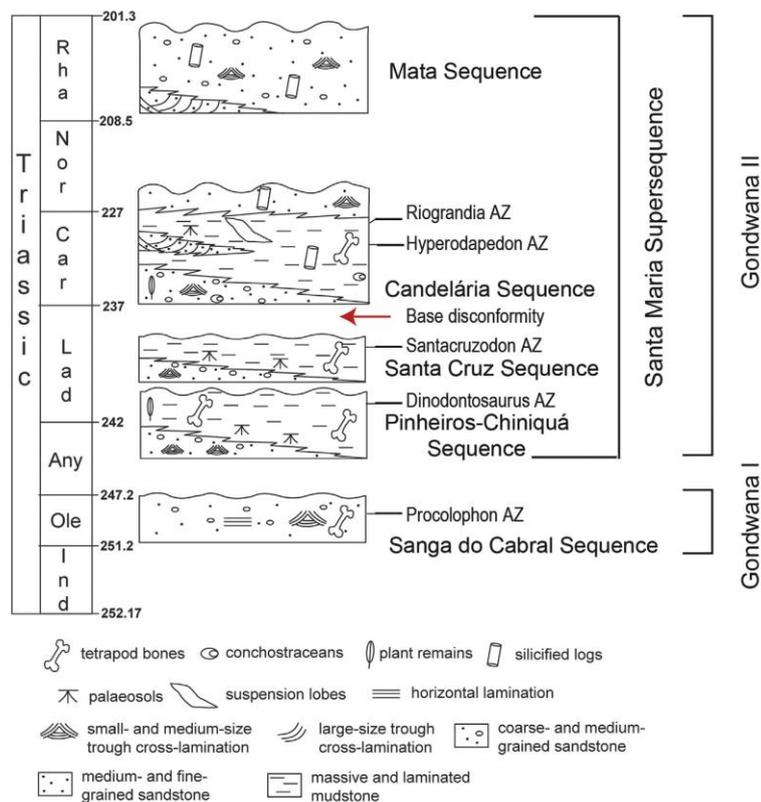


Fig. 2. Chronostratigraphy of Southern Brazil Triassic with vertebrate biozones (modified Horn et al., 2014). The red arrow highlights the base disconformity between Candelária and underlying Santa Cruz sequences (further discussed in Chapter 6). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Batolith (Hartmann et al., 2000); Tijucas Terrane (Jost and Bittencourt, 1980); São Gabriel Terrane (Chemale, 2000). The AMG is located over the Tijucas Terrane and limited on the east by the Dorsal de Canguçu Shear Zone and the Pelotas Batholith and to the west by the São Gabriel Terrane (Fig. 1).

These outcrops were tentatively described as Caneleiras Formation with Devonian age (Tessari and Picada, 1966). Nevertheless, a debate emerged around their precise stratigraphic position and tectono-stratigraphy context, sedimentary units, fossil content (Menegat and Scherer, 1993; Ketzer, 1997). The studied occurrence was linked by these authors with the continuous Permo-Triassic package of the Paraná Basin because of facies similarity.

The sedimentary beds of AMG were described as lacustrine, fluvial, deltaic and aeolian facies of the Sanga do Cabral Formation and fluvial, lacustrine and deltaic facies of the Santa Maria Formation (Ketzer, 1997). The Triassic rocks from AMG were placed in the Upper Triassic based on Rhynchosaurus fossil with one maxillary groove which allows assigning the fossil to *Hyperodapedon* genus, one of the guide fossils for the Candelária Sequence (Horn et al., 2015).

3. Studied area

The Arroio Moirão Graben is a depressed morphological feature within the Sul-Riograndense Shield, and has an extension of 47 km in the NE direction and 27 km the SE direction. There are two major outcropping sectors for Triassic rocks, one along Highway BR-392 sector and the other in the southwest sector of AMG (Fig. 3). Both of these outcropping sectors are constrained by NE-trending

basement structures, corresponding to the Porongos Metamorphic Complex (Hartmann et al., 2000) as the basement for the AMG Triassic units. The graben is limited in the northwest by Açoteia-Piquiri Fault, in the southeast by Dorsal de Canguçu Shear Zone and cut in half by Chapadão Fault (Wildner et al., 2006) (Fig. 3).

4. Methods

The field work in the Arroio Moirão Graben was carried out following the field methodology of Lisle et al. (2014) and Tucker (2014). The data obtained along BR-392 Highway produced the A e A⁰ and B e B⁰ cross-sections and in the SW sector the C e C⁰ cross-section. The obtained field data produced 23 columnar sections at 1:50 scale (12 in the Br-392 sector and 11 in the southwest sector) and identified ten sedimentary facies, concerning facies analysis by Miall (1978). The sedimentary model used for the Arroio Moirão Graben followed the proposition of terminal splay (Fisher et al., 2008) and flood units (Plink-Björklund, 2015) because they are consistent with the semi-arid climate for the Triassic (Sellwood and Valdes, 2006; Da Rosa, 2005; Horn et al., 2013).

The high-frequency sequence (Zecchin and Catuneanu, 2013) identifies 4th-order or lower sequences at outcropping scale, allowing the recognition of cyclic succession, boundaries between system tracts and facies limits. The association of flood units with high-frequency sequences enables the proposition of an alluvial sequence stratigraphy framework (sensu Martinsen et al., 1999).

The concepts of alluvial sequence stratigraphy (Martinsen et al., 1999) define two systems tracts based on the relationship between

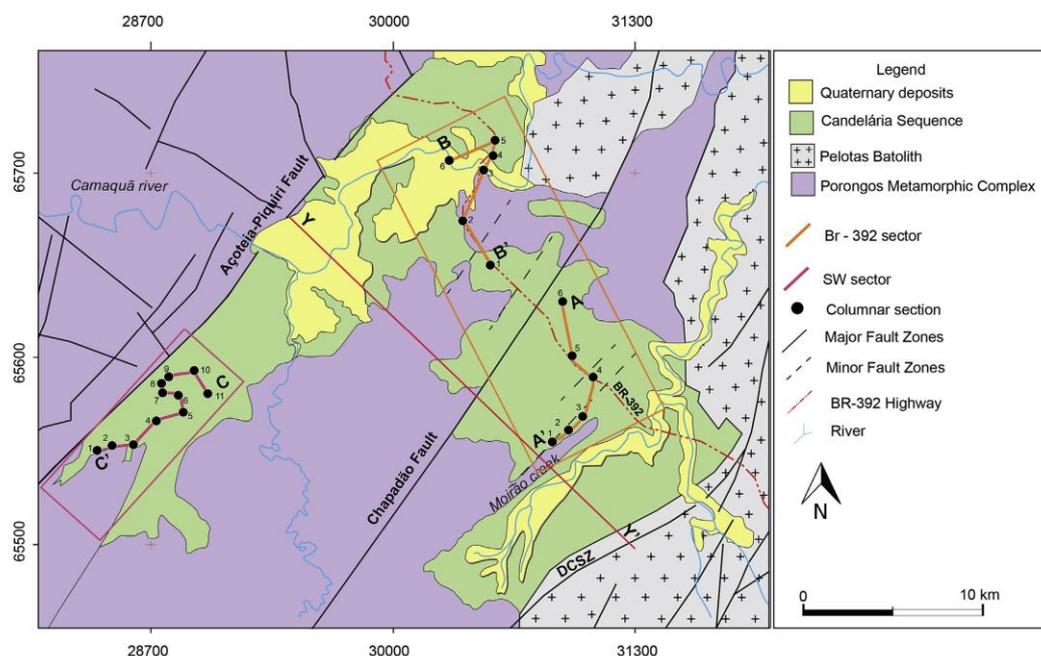


Fig. 3. Studied area and simplified geological map of Arroio Moirão Graben. Units and structures after Wildner et al. (2006). The datum is WGS 84 fuse 221.

accommodation and sediment supply (A/S); low accommodation and high accommodation system tracts. The low accommodation system tract comprises amalgamated channel deposits and the high accommodation system tract comprises overbank deposits with isolated channel deposits and lacustrine-dominated successions. The Expansion Zone, or surface, lies between the two system tracts and marks the positive ratio of overbank/ fluvial channel. In the present work, the interpretation of low accommodation system tract is based on the amalgamation of distributary channels and proximal splays (dominance of sand bodies) and the high accommodation system tract represents the dominance of distal splays (dominance of water ponds).

The proposition of flood units (Plink-Björklund, 2015) as high-frequency sequences (Zecchin and Catuneanu, 2013) and alluvial sequence stratigraphy model (Martinsen et al., 1999) provided a

useful tool to determine that the limits of the transgressive flood units correspond to low and high accommodation system tracts. The Zecchin and Catuneanu (2013) model was proposed for marine and transitional environments. The logic of transgressive high-frequency sequences (in this work a single flood event) was followed by rapid regressions with further transgression (next flood event). This fits the idea of flood units inside a continental environment. Zeffass et al. (2003) framework and Horn et al. (2014) sequences were used for the correlation of the AMG outcrop belt with the main outcropping area from Paraná Basin.

5. Results

In the BR-392 highway and SW sectors, the sedimentary package has red color, tabular geometry, displays intense weathering

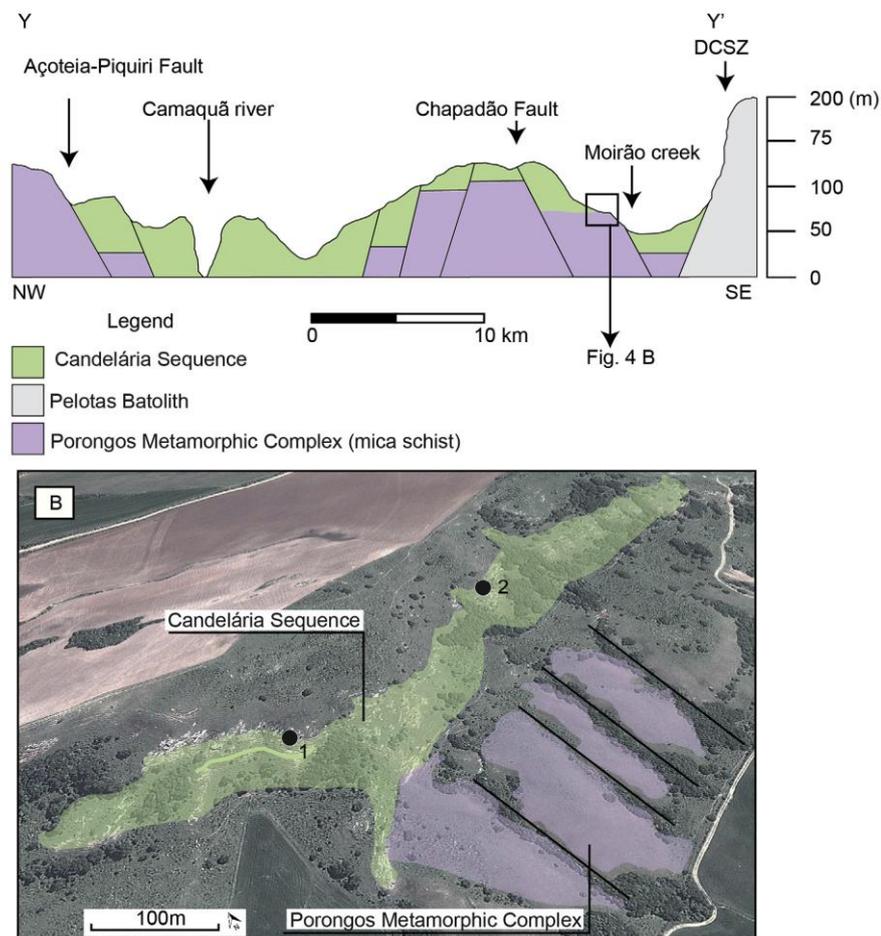


Fig. 4. A) Geological cross-section Y-Y' (view Fig. 3) of Arroio Moirão Graben (modified from Ketzer, 1997) showing the relationship of the sedimentary units from Candelária Sequence and basement units; B) Satellite image showing the contact between the basement units and the overlying Candelária Sequence.

Table 2
Facies table (after Miall, 1978) displaying the recognized facies and its interpretations.

Facies	Description	Bed Form	Interpretation
Gh	Horizontal laminated conglomerate, with erosional base surface, tabular geometry, normal grading, associated with traction regime inside shallow channels.	–	Traction, subaqueous, lower flow regime
Gt	Conglomerat, sandy conglomerate, coarse sandstone and medium sandstone with through cross-bedding stratification. Abundant presence of mudstone and siltstone intraclasts in the base of the cross-bedded sets. Traction bedload transport in poorly channelized low density fluidal flows. Lower part of distributary channels and proximal display architectural elements.	3D	Traction, subaqueous, lower flow regime
St			
Sp	Coarse to fine sandstone with Low planar cross-bedding stratification. Bedload transport in unconfined, tabular low density fluidal flows composing proximal display architectural elements.	2D	Traction, subaqueous, lower flow regime
Sm	Amalgamated sandstones with texture ranging from coarse to fine, composing shallow ephemeral flows.	–	Traction, subaqueous, lower flow regime
Gm	Massive or crudely bedded conglomerates, tabular bed forms, normal grading, poor selection, forming basal lag. Low density fluidal flows with transport mechanism from mass deposit to traction flows, composing the base of distributary channels architectural elements.	–	Traction, subaqueous, lower flow regime
Sh	Fine to very fine horizontal laminated sandstone, with thin tabular geometry, upper flow regimes and associated with dispersion of fluidal flows. Compose the top of proximal display architectural elements	–	Traction, subaqueous, upper flow regime
Sr	Fine to very fine sandstone, related to migration of unidirectional small scale bedform. Related to dispersion of unconfined fluidal flows, traction transport in lower flow regimes and associated the top part of proximal splay or traction regime in water ponds	Ripple	Traction, subaqueous, lower flow regime
Fs	Laminated to massive deposits with tabular geometry composing distal splay facies association related to water ponds.	Tabular	Suspension, subaqueous
Fm			

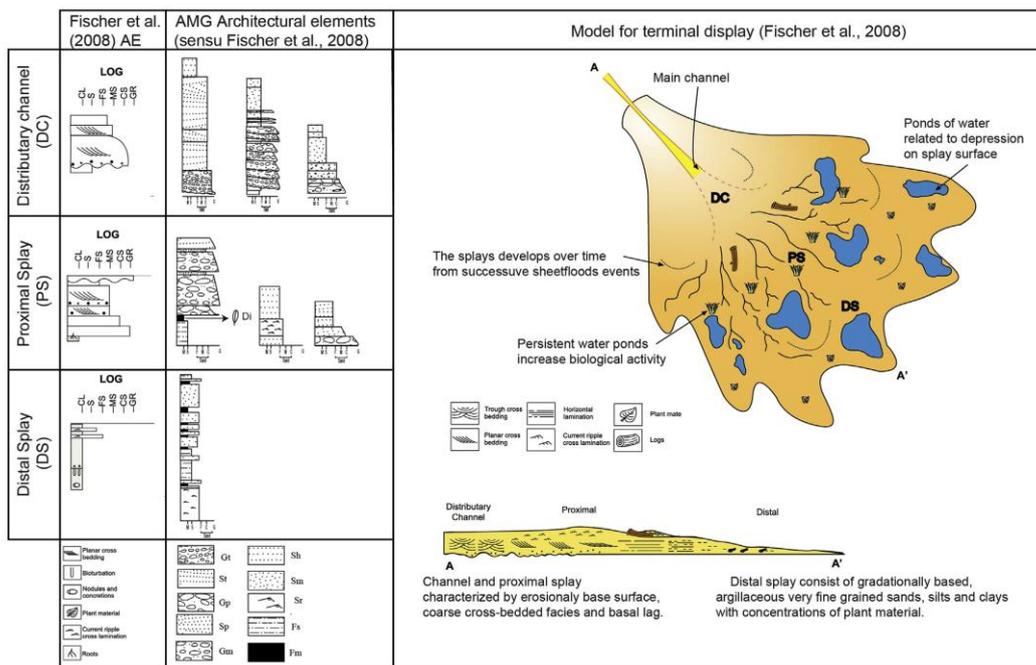


Fig. 5. Comparison between Fischer et al. (2008) architectural elements and those found in AMG (sensu Fischer et al., 2008) and depositional model of terminal displays (Fischer et al., 2008).

and a thick vegetal cover. The Chapadão Fault, together with NE-strike fault zones, affects the outcropping along the BR-392 sector (Fig. 3), resulting in a series of dislocated blocks. There is no measured displacement for Chapadão Fault due to cover, nevertheless the discordant basal contact between the AMG sedimentary rocks and the underlying Porongos Metamorphic Complex was defined in the field, characterizing a non-conformity (Fig. 4). The SW sector displays a less structured outcropping area, with no faults displacing blocks and no visible contact with underlying units. There is a significant contrast between the thickness of SW and BR-392 sectors. In SW sector, the outcropping thickness reaches more than 45 m while in BR-392, it reaches 20 m.

5.1. Lithofacies

The facies analysis resulted in ten lithofacies described as reddish, with poor selection, high content of argillaceous matrix, quartz-feldspar clast composition, with mudstone intraclast and oxidized. Locally the siltstones and mudstones also present textural heterogeneity with thin lenses of fine to medium sand (Table 2).

5.1.1. Horizontal bedding conglomerates with (Gh)

Pebbly horizontal laminated conglomerate, with erosional base surface, tabular geometry, normal grading, associated with traction regime inside shallow channels. The conglomerates compose the

base of distributary channels architectural elements.

5.1.2. Tangencial cross-bedding conglomerates with (Gt) and tangencial cross-bedding sandstones (St)

3D facies with trough cross-bedding stratification and texture from conglomerate, sandy conglomerate, coarse sandstone and medium sandstone. Basal portion of cross-bedded sets rich in sandstones and mudstones intraclast. Both facies correspond to traction bedload transport in poorly channelized low density fluvial flows. The conglomerates and sandy conglomerates compose the lower part of distributary channels and proximal display architectural elements.

5.1.3. Planar cross-bedding sandstone (Sp)

2D facies with low planar cross-bedding stratification and texture ranging from conglomeratic to fine sandstone. Corresponds to traction bedload transport in unconfined, tabular low density fluvial flows, composing proximal display architectural elements.

5.1.4. Massive sandstone (Sm)

Amalgamated sandstone packages with texture ranging from coarse to fine. In the coarser portion, the sandstone has abrupt or erosional base surface while in the finer portions it has common detrital micaceous. The coarse portion is interpreted as rapid deposition of concentrated sediment in proximal splays, while the finer

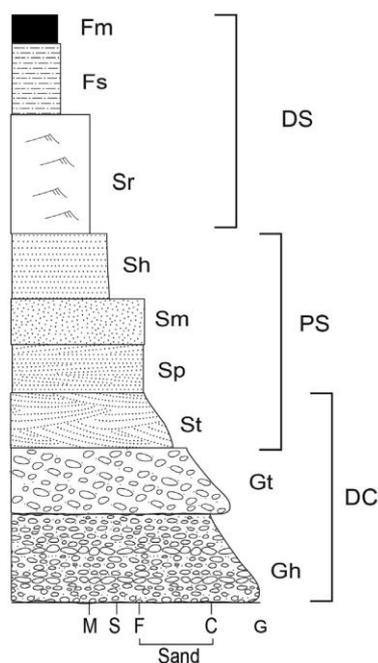


Fig. 6. Flood unit for the AMG displaying the finning upward trend and the complete facies succession and architectural elements. Gh $\frac{1}{4}$ Horizontally bedded conglomerate with erosional base surfaces, normal grading; Gt $\frac{1}{4}$ Conglomerate with cross-through bedding; St $\frac{1}{4}$ Medium to fine sandstone with cross-through bedding; Sp $\frac{1}{4}$ Conglomeratic sandstone with low angle planar-cross bedding stratification; Sh $\frac{1}{4}$ fine to very fine horizontal-laminated sandstone; Sm $\frac{1}{4}$ Coarse to fine massive sandstone; Fm $\frac{1}{4}$ Horizontally laminated mudstone; Sr $\frac{1}{4}$ fine to very fine unidirectional rippled sandstone; Di $\frac{1}{4}$ Massive mud deposits with Dicroidium flora remnants; DC $\frac{1}{4}$ Distributary Channel; PS $\frac{1}{4}$ Proximal Splay; DS $\frac{1}{4}$ Distal Splay.

portion as rapid deposition of suspended sediment in distal splay.

5.1.5. Massive conglomerates (Gm)

Massive or crudely bedded conglomerates, with tabular bed forms, normal grading, poor selection, forming basal lag deposits. Associated with low density fluidal flows with transport mechanism transitioning from mass deposit to traction flows, composing the base of distributary channels architectural elements.

5.1.6. Horizontal bedding sandstones (Sh)

Fine to very fine horizontal laminated sandstone, with thin tabular geometry, related to upper flow regimes and associated with dispersion of fluidal flows. The sandstones compose the top of proximal display architectural elements.

5.1.7. Current rippled sandstones (Sr)

Fine to very fine sandstone, related to migration of unidirectional small scale bedform. The sediments are related to dispersion of unconfin ed fluidal flows, traction transport in lower flow regimes and associated the top part of proximal splay or traction regime in water ponds.

5.1.8. Siltstone (Fs) and mudstone (Fm)

Laminated to massive deposits with tabular geometry composing distal splay facies association related to water ponds.

These facies can be associated, in three architectural elements (sensu Fischer et al., 2008): a) distributary channel with fining upward succession of Gt, Gh and Gm facies grading towards the top to St, Sp or Sm; b) proximal splay with fining upward succession dominated by sandy facies (St, Sp, Sm, Sr); c) distal splay with mud

or siltstone dominated successions interbedded with ripple sandstone (Sr).

These ancient records of the AMG are partially to completely weathered, with strong vegetal cover and restricted lateral continuity. These conditions limit the exposure of the lateral and vertical extensions of the architectural elements and sequences but we attributed the same characteristics to them as the model proposed by Fischer et al. (2008) (Fig. 5).

The distributary channels are wide, shallow channels, generally containing the coarsest sediments with intraclasts at the base of the cross-bed sets or as basal lags, which characterizes the transport mechanism as bedload. Proximal splay are unconfin ed bodies bound at the base by erosional surfaces with dominance of coarse sandstones grading to horizontally laminated sandstones or massive sandstones, with bedload as main mechanism of transport. Distal display is dominated by very fine massive or rippled sandstones interbedded with mud and clay deposits. The transport mechanism varies from bedload in the sand to suspension for the silt and mud layers, characterizing low velocity flows associated to deposition in water ponds.

The model for terminal splay (Fischer et al., 2008) (Fig. 5) shows with increasing distance from source a decrease in grain-size, lithofacies thickness and bed load deposits. The same behavior occurs in the AMG where the bed load transport forms thicker beds in the distributary channels and proximal splays, diminishing towards thin distal splay deposits. However, this behavior is only seen in columnar section because the outcrop exposure is limited.

Modern and ancient monsoonal rivers are characterized by the

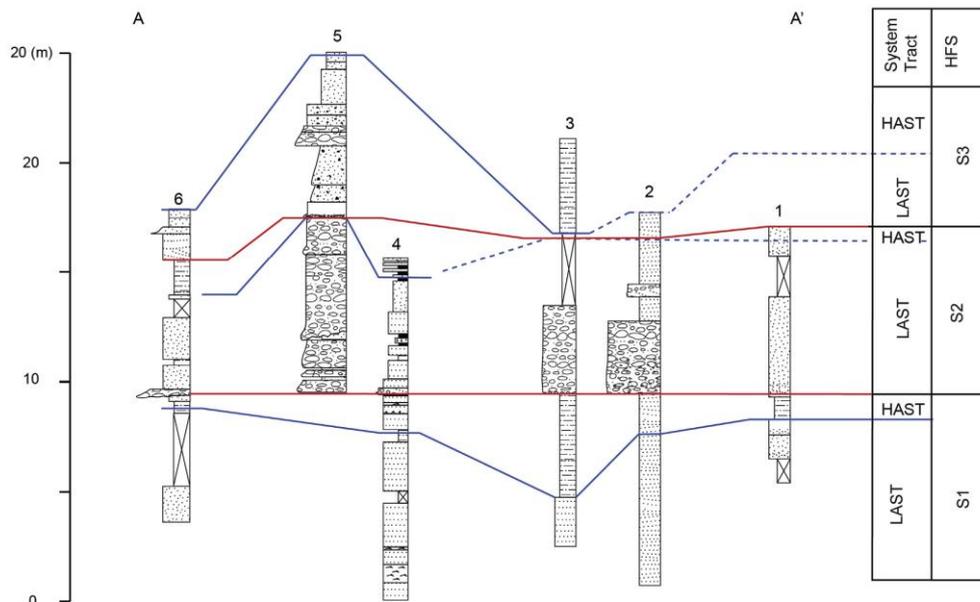


Fig. 7. High-frequency sequence correlation chart for the A-A' cross-section (view Fig. 3). S1 to S3 high-frequency sequence 1, LAST low accommodation systems tract, HAST high accommodation systems tract, Red line sequence boundary, Blue line expansion zone. See Table 2 for facies legend. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

presence of upper flow regime structures, high deposition rate and mud drapes which can characterize flood units (Plink-Björklund, 2015). These characteristics are found in the AMG deposits as the flood units (sensu Plink-Björklund, 2015) are depositional units bound by erosional surfaces, or erosional surfaces at the base and mud drapes at the top, with fining upward trend from conglomerate to sand. The same trend is found in the AMG deposits with upper flow regime structures (horizontally-laminated sandstones), high deposition rate as gradational lamination (few centimeters thick) related to the migration of low-angle bedforms, deposition of in-channel mud horizons corresponding to rapid waning of high-magnitude floods or persistent water ponds. These features, along with the model for terminal splay (Fisher et al., 2008), allows the proposition of a flood unit facies association for the AMG (Fig. 6) that represents a single flood event. The flood unit is defined by fining upward successions with intraclast-bearing conglomerates at the base, grading to coarse to medium sandstones with trough cross-bedding, coarse to medium sandstones with planar cross-bedding, coarse to medium massive sandstones, medium to fine horizontally laminated sandstones, fine sandstones with unidirectional ripple marks and mud and siltstone deposits. The complete flood unit facies association rarely occurs, because the erosional nature of the flood unit tends to scour the top of previous units, as

shown by the presence of mud and siltstone intraclasts at the base of flood units.

5.2. Stratigraphic framework

The BR-392 sector comprises two cross-sections, A-A' and B-B', and it is divided by the Chapadão Fault (Fig. 3). Both cross-sections display similar facies and architectural elements but no clear stratigraphic surface was identified to establish precise correlation, because the Chapadão Fault has its exposure covered and undefined displacement.

The A-A' (Fig. 7) cross-section comprises three high-frequency sequences (S1, S2 and S3) with fining upward trend, each one representing a single flood event. As datum for the correlation between each of the columnar sections we utilized an erosional surface recognized as the base of S2 in the field. The S1 has a non-conformity lower contact with basement units and is composed of amalgamated sand with horizontal stratification and ripple marks. The top of S1 marks an increase in the A/S ratio characterized by appearance of facies association Fs and Sr facies. The S2 has basal erosional surface with intraclast-bearing conglomerates grading to trough-cross bedded stratification sandstones and horizontal laminated sandstones. The columnar-section 4 presents a facies

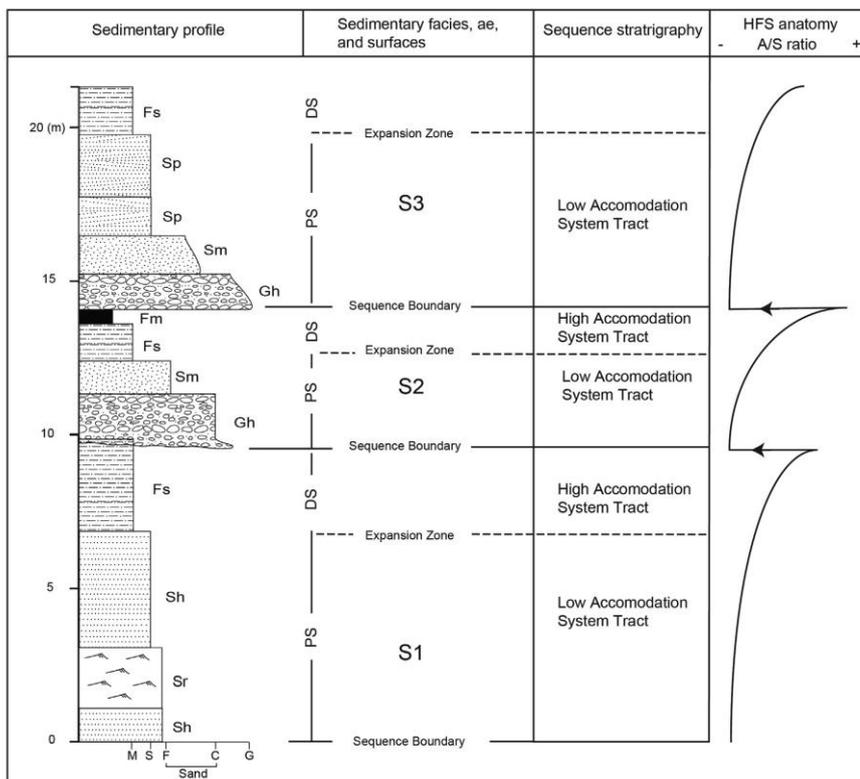


Fig. 8. Compound section and stratigraphic framework for the A-A' cross-section. DC ¼ distributary channel, PS ¼ proximal splay, DS ¼ distal splay. See Table 2 for facies legend.

association related of Sm, Fh and Fm. This lateral variation along the same HFS could represent isolated ponds of water inside a single flood unit and an increase in the A/S ratio. The base of S3 is marked by a pavement of quartzose gravel in the columnar-section 5 and displays a fining upward trend of massive conglomerates and coarse sandstones to siltstones. The compound section and stratigraphic framework for the A-A' correlation profile comprises three Transgressive Type high-frequency sequences. Each of these sequences has a low accommodation system tract at the base, characterized by proximal splays, that grades towards the top, to a high accommodation system tract, defined by the distal splays (Fig. 8).

The B-B' (Fig. 9) segment comprises one high-frequency sequence (S1) with fining upward trend, interpreted as one single flood unit. It has a basal erosional surface (utilized as datum) with intraclast-bearing conglomerates that grade to cross-bedding sandstone or massive sandstones (columnar sections 2, 3, 4 and 5). Laterally, these sequences grade to Sr, Fs and Fm facies (columnar sections 1 and 6) and towards the top the whole sequence displays a fining trend as an increase in the A/S ratio. The compound section and stratigraphic framework for the B-B' correlation profile displays only one Transgressive Type high frequency sequence (Fig. 10). The base is defined by a low accommodation system tract, characterized by distributary channel facies association and proximal splays that grades to a low accommodation system tract at the top, characterized by the distal splay facies association.

The correlation profile C-C' comprises five high-frequency sequence (Fig. 11) each interpreted as one single flood event. As datum for the correlation between each of the columnar sections we utilized an erosional surface recognized as the base of S1 in the field (The profile has as datum the base of S3 also recognized in the field). The S1 has a basal erosional surface

with pebbly conglomerate of quartzose composition grading from coarse to medium sandstones with trough cross-bedding stratification, horizontal lamination or massive. The top of the sequence marks the increase in the A/S ratio by the presence of laminated siltstone interbedded with massive sandstones and in the columnar section 11 there is a thick deposit of siltstone. The S2 has a basal erosional surface with intraclast bearing conglomerates grading to trough-cross bedding stratification, massive or horizontally laminated sandstones. In this sequence, *Dicroidium* flora remnants were also found in columnar-section 10. The top of the sequence marks the increase in the A/S ratio by the presence of laminated siltstone and the columnar section 11 displays thick deposits of siltstone. The S3 has a basal erosional surface with the intraclast-bearing conglomerates with trough cross-bedding grading to horizontally-laminated or trough cross-bedding sandstones. This sequence has the same trend as the previous sequences showing a fining-upward trend that culminates with an increase in the A/S ratio, displayed by the laminated siltstones. S3 has less conglomeratic facies than the sequences below. S4 and S5 are registered only in the columnar sections 4, 5 and 8 with the same fining upward trend and no mudstones or siltstones preserved. However, both sequences have abundant presence of intraclast at the base of cross-bedded sets. The compound section and stratigraphic framework for the C-C' cross-section comprises five transgressive-type high-frequency sequences. Each sequence has a basal low accommodation system tract, characterized by distributary channel facies association or proximal splay facies association. Only sequences S1, S2 and S3 display distal splay facies association and high accommodation system tracts (Fig. 12).

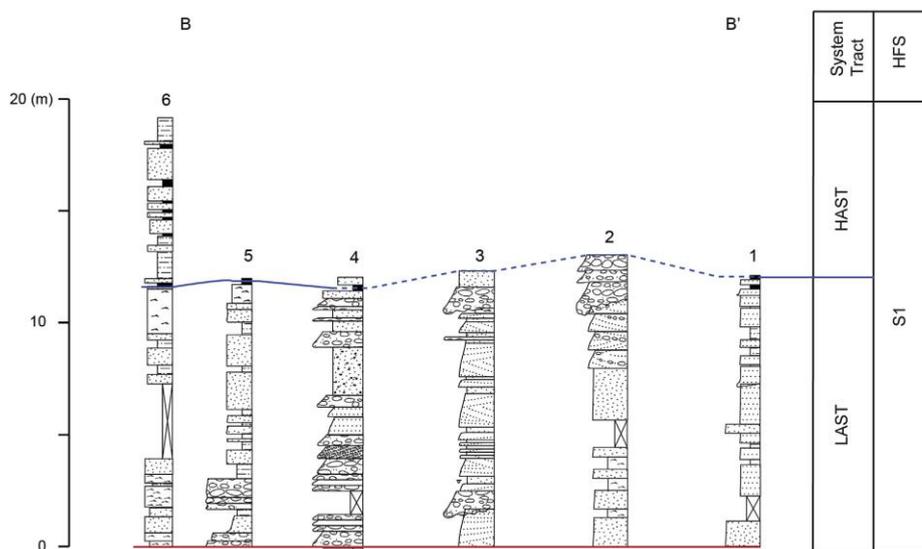


Fig. 9. High frequency sequence correlation chart for the B-B' (view Fig. 3) cross-section. S1 ¼ high-frequency sequence 1, LAST ¼ low accommodation systems tract, HAST ¼ high accommodation systems tract, Red line ¼ sequence boundary, Blue line ¼ expansion zone. See Table 2 for facies legend. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

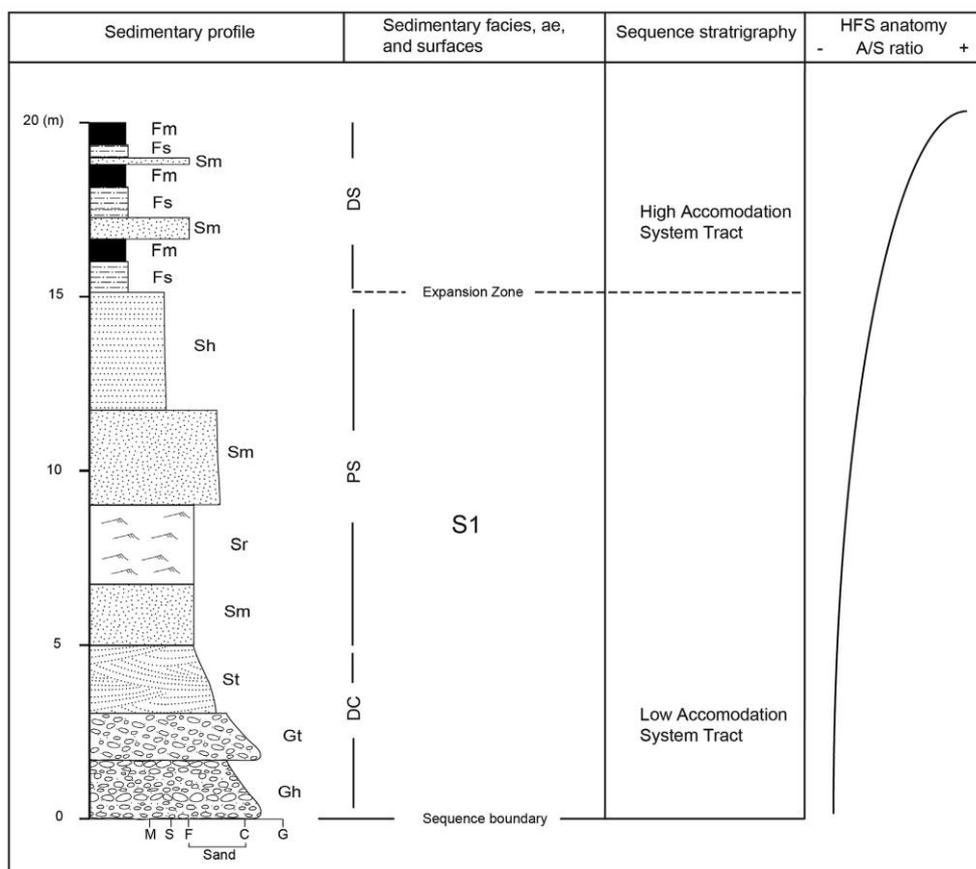


Fig. 10. Compound section and stratigraphic framework for the B-B cross-section. DC $\frac{1}{4}$ distributive channel, PS $\frac{1}{4}$ proximal splay, DS $\frac{1}{4}$ distal splay. See Table 2 for facies legend.

6. Interpretation and discussion

In this study, the obtained results indicate a terminal display model for the AMG where transgressive high-frequency sequence flood units establish the framework of low and high-accommodation system tracts. These deposits are directly overlying the basement units and are constrained by their structures. The fossil content is the same as the Candelária Sequence, which yields the necessary data for the correlation of the AMG deposits with the main outcropping area of Paraná Basin.

Although the Zuffass et al. (2003) framework displays the big picture of the Triassic section of Paraná Basin, it lacks the details of high-frequency sequences. As interpreted in this paper, the Candelária Sequence in the main outcropping area of Paraná Basin (former Santa Maria 2 Sequence) comprises six transgressive-type sequences defining three system tracts: low, high and low accommodation system tracts (from base to top) (Fig. 13). The basal low accommodation system tract marks the

discordant contact of the Candelária Sequence with the underlying Pinheiros-Chiniquá Sequence. It has packages of sands interlayered with mudstone in the base and *Dicroiodium* Flora remnants. The expansion zone at the top of the low accommodation system tract marks the beginning of the high accommodation system tract, that grades from lacustrine deposits at the base to sigmoidal sand bodies at the top. This shallowing trend towards the top culminates with the top low accommodation system tract that has sandstone packages related to fluvial channels. These three system tracts represent a complete transgressive-regressive cycle for the Candelária Sequence (Fig. 13).

Therefore, we can establish the correlation between the AMG package and the base of Candelária Sequence from the Paraná Basin main outcropping area by its discordant base contacts and fossil content. The AMG package records only the Candelária Sequence in discordant contact with the basement. This discordance represents the same discordant contact between the Carnian Candelária

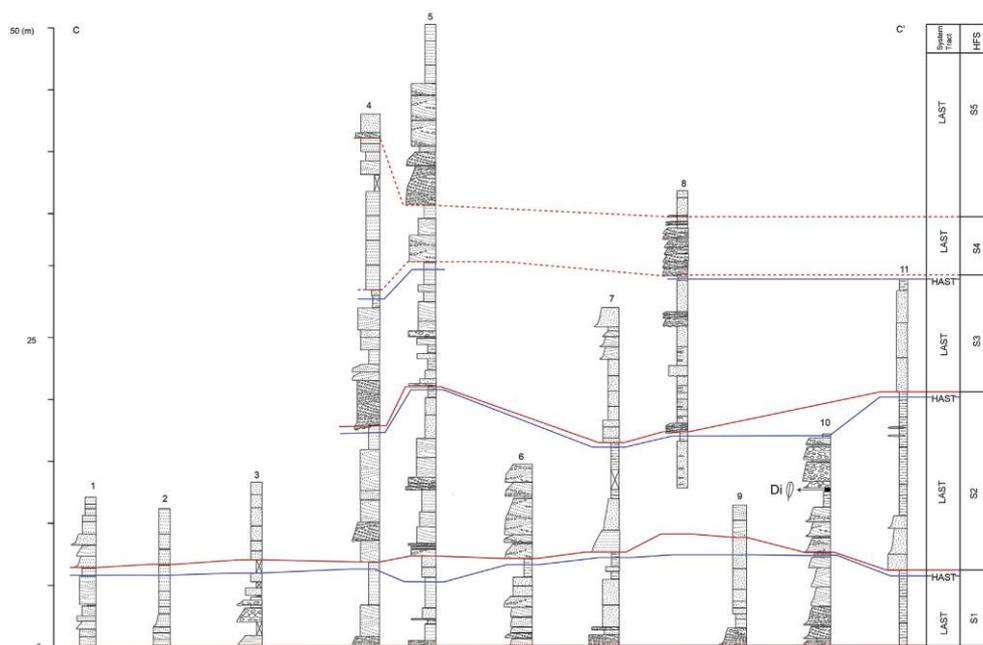


Fig. 11. High-frequency sequence correlational chart for the C-C₀ cross-section (view Fig. 3). S1 to S5 ¼ high-frequency sequence 1 to 5, LAST ¼ low accommodation system tract, HAST ¼ high accommodation system tract, Red line ¼ sequence boundary, Blue line ¼ expansion zone; (view Table 2 for facies legend). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Sequence and the underlying Ladinian Santa Cruz Sequence (highlighted in Fig. 2). Even though the discordances are correlated, there is a contrasting difference in the sedimentary behavior from the AMG package and the base of Candelária Sequence in the Paraná Basin main package. The AMG clearly displays the amalgamation of coarse facies with thin packages of mudstones, while in the Paraná Basin main outcropping area the Candelária Sequence displays a thickening in the mud deposits. Both of these behaviors are expected because the depocenter for the Paraná Basin Triassic dips to the north (Schultz et al., 2000; Zeffass et al., 2003) and the coarser texture of the AMG package expresses its proximity with the shield, the source area for the Triassic deposits. There are few measured paleocurrents for the AMG, mostly due to the intense weathering and very low-angle sedimentary structures, but it trends northeastward (Fig. 12). In general, all the five high-frequency sequences from the AMG are correlated to the basal low accommodation system tract and part of the high accommodation system tract from Paraná Basin main outcropping area Candelária Sequence (Fig. 14). The presence of *Dicrodium flora* and the rhynchosaur *Hyperodapedon*, guide fossils for the Candelária sequence, insert both of these outcropping areas in the same stratigraphic level.

This framework provides useful information about the stratigraphic level of the Triassic units of AMG. Ketzer (1997) attribute the base of AMG deposits to the Sanga do Cabral Formation (here Sanga do Cabral Sequence, sensu Zeffass et al., 2003). There is no facies similarity between the AMG deposits and those from Sanga

do Cabral Sequence, especially in architecture and fluvial style. Also, weren't found aeolian facies for the AMG and the fossil content is compatible with Candelária Sequence. The proposal of the terminal splay model for the AMG in this work is consonant with recent research for the Santa Maria Supersquence in the main outcropping area (Horn, 2016).

We propose a tectonic model for the AMG based on Gawthorpe and Leeder (2000) where several normal faults developed apart forming isolated rifts. During Middle to Late Triassic, the Gondwanides orogeny established a sinistral shear zone along the southwestern margin of Gondwana, due to the subduction of Panthalassa oceanic crust (Zeffass et al., 2004) (Fig. 15 A and B). Dextral shear zones developed as accommodation faults (oblique to the sinistral shear zone), following basement structures that conditioned the Triassic basin as perpendicular to the transtensional stress (Zeffass et al., 2004) (Fig. 15 C). The AMG structural pattern for the tectonic lineaments reveal two major directions, N45E/N85E and N20W/N70W (Ferreira, 2015) both correlated with basement structures (Fernandes et al., 1995). In the AMG model, the intracratonic extensional basin was controlled by the reactivation of Chapadão Fault, Açoteia-Piquiri Fault and Dorsal de Canguçu Shear Zone. As a result, this fault-related topography and arid-climate controlled the terminal splays inside this isolated rifts (Fig. 15 D). Limited volume of data for paleocurrents restrain the determination of the terminal splays as parallel or perpendicular to the graben axis but these faults should have controlled the deposition during Carnian. Also, the vegetal coverage and weathering

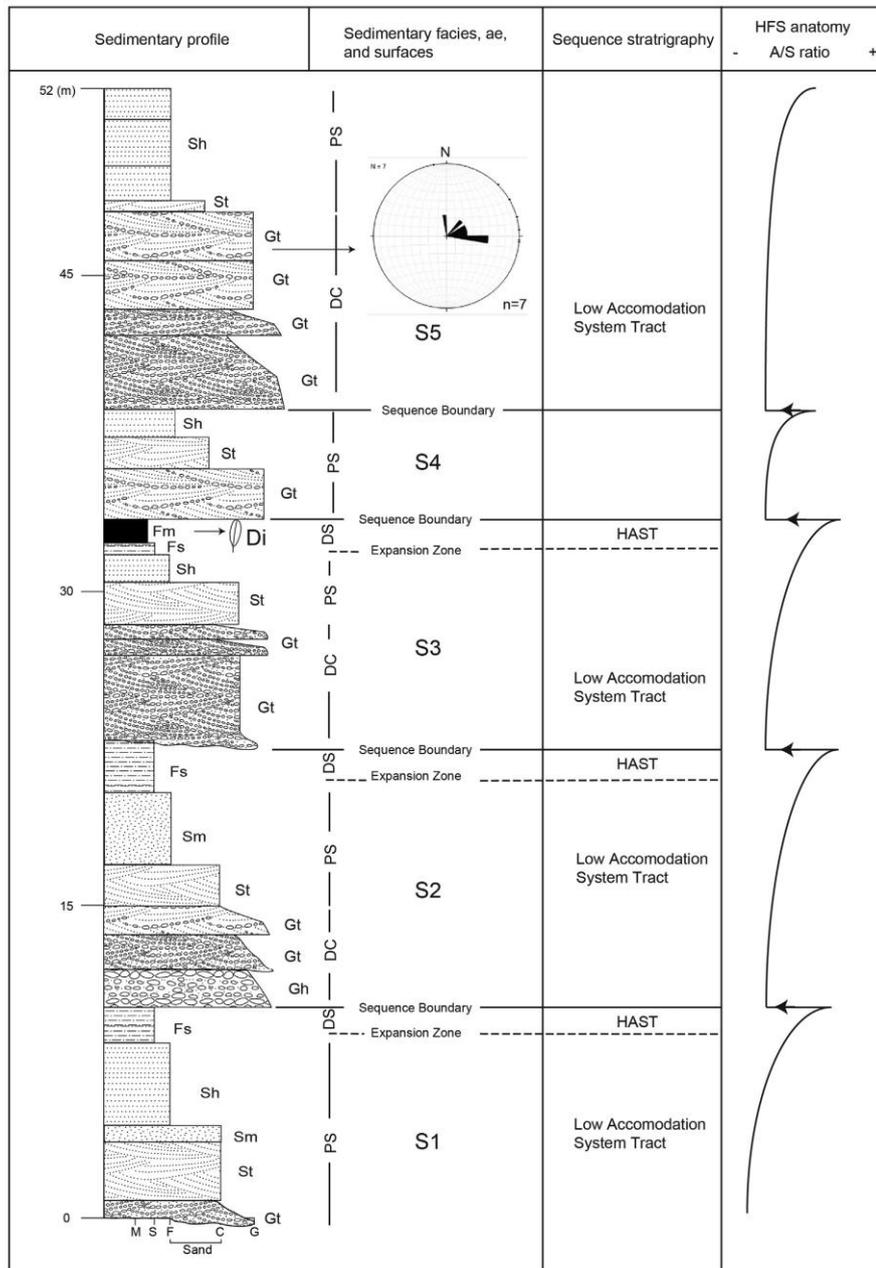


Fig. 12. Compound section and stratigraphic framework for the C-C cross-section. DC ¼ distributary channel, PS ¼ proximal splay, DS ¼ distal splay. See Table 2 for facies legend.

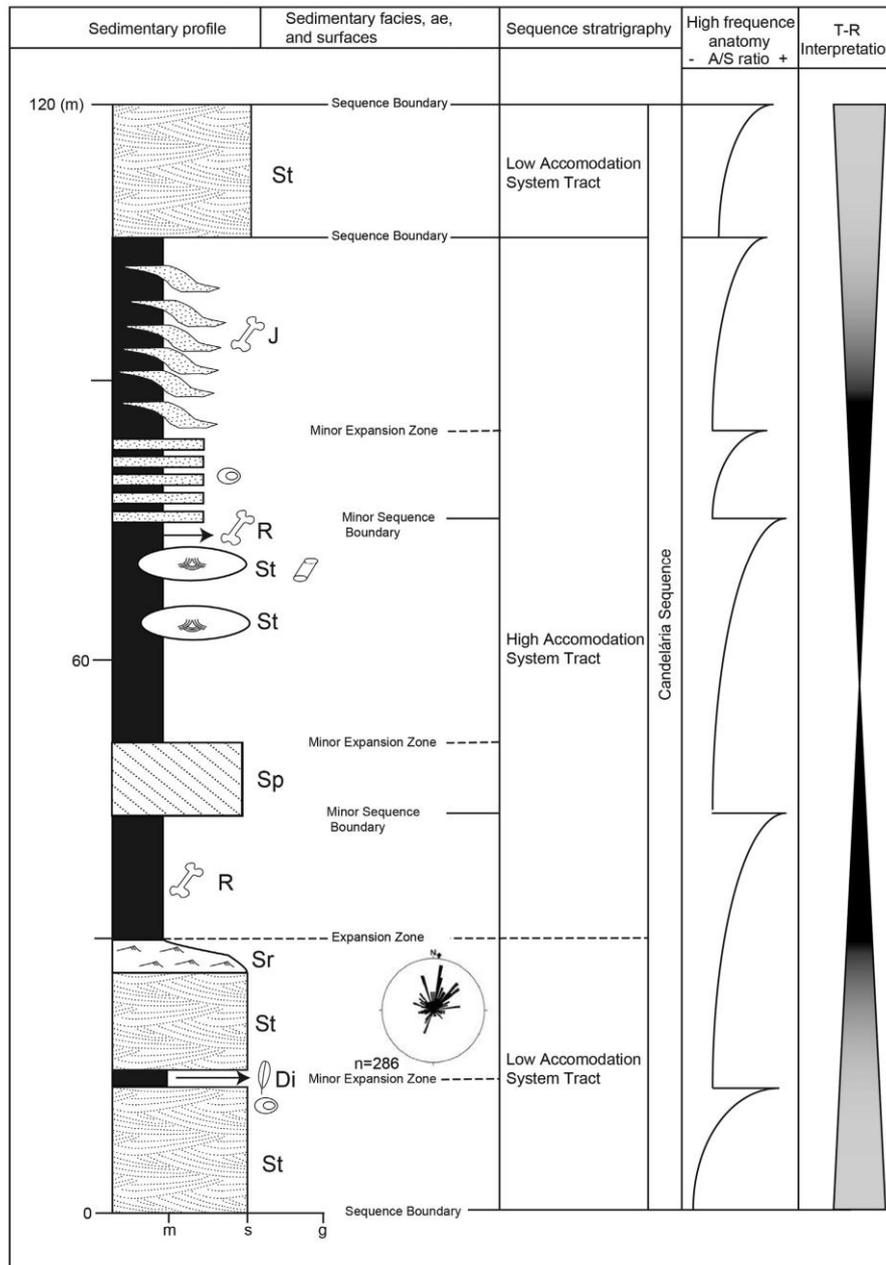


Fig. 13. Compound section and stratigraphic framework for the Candelária Sequence (modified from Zerfass et al., 2003) (view Table 2 for facies legend).

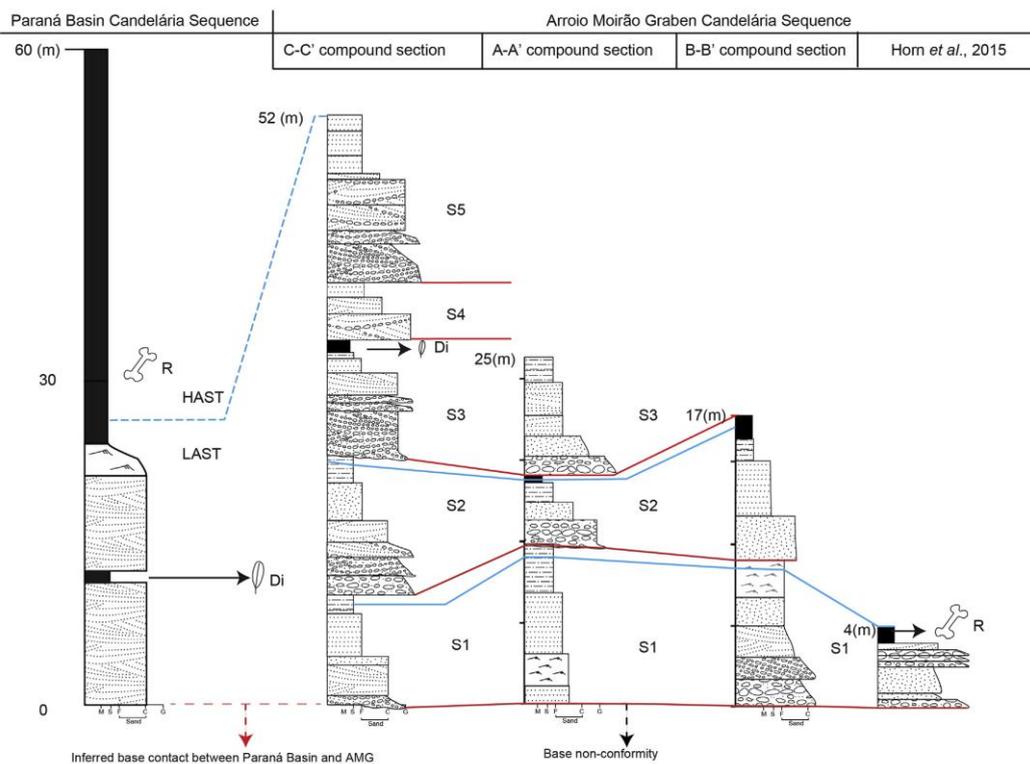


Fig. 14. Correlation between Paraná Basin main outcropping area and AMG (after Zervas et al., 2003; Horn et al., 2015 and this work). Red line ¼ sequence boundaries. Blue line ¼ expansion zones. Di ¼ Dicrodium flora. R ¼ Rhyncosaurus. LAST ¼ low accommodation system tract. HAST ¼ high accommodation system tract. S1 to S5 ¼ AMG high-frequency sequences; (view Table 2 for facies legend). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

hampered the identification of kinematic markers. Nonetheless, these faults are considered active until the Cretaceous, because there are alkaline pipes from Passo da Capela Alkaline suite (92.8 e 76.0 Ma) aligned with basement structures (Wildner et al., 2006) inside the AMG.

This assumption gives rise to the discussion about the limits of Paraná Basin during Triassic. The lack of known Middle Triassic register in Uruguay marks the AMG as the southern limit of Paraná Basin, so the Rio Grande Arch limits the Triassic exposures (Philipp et al., 2013a) and the zircon U-Pb age of 236 ± 1.5 Ma (Philipp et al., 2013b) places these rocks between the Ladinian-Carnian interval. Nonetheless, it remains unclear if the AMG and the continuous outcropping area of Paraná Basin were the same depositional locus or they were coeval and disconnected. The limited Triassic record in Brazilian Phanerozoic basins correspond in the Paranaíba Basin to the register of the Sambaíba Formation; the Amazonas Basin has only volcanic register (Milani et al., 2007). This makes the AMG the key area for studies regarding the chronocorrelation between sedimentation and tectonics in the Brazilian Triassic.

When compared with other basins from Gondwana, specifically the Cape-Karoo and Congo Basins, the Paraná Basin displays very similar stratigraphic record and tectonic evolution. The Triassic

interval of these basins is defined by a basal discordant contact followed by extensive subsidence related to the Cape - Sierra de la Ventana Orogeny (Linol et al., 2015) resulting in long wavelength flexures across southwestern Gondwana (Daly et al., 1992; Trouw and de Wit, 1999; Milani and de Wit, 2008).

7. Conclusion

This work defines a new approach to the Triassic continental deposits of Arroio Moirão Graben, using the concepts of flood units, high-frequency sequences and fluvial sequence stratigraphy model to propose a new stratigraphic framework and its relations with Gondwana Middle Triassic tectonics. The AMG Triassic outcropping belt is a part of Middle Triassic intraplate extensional basin related to the Candelária Sequence from Paraná Basin. The deposits are interpreted as terminal splays with stacking of proximal facies, depicting the proximity with basement units, when compared to the main outcropping area of Paraná Basin. The stratigraphic framework, fossil content as well as basement tectonics allow the precise correlation with the base of the Carnian Candelária Sequence, ending a discussion about the stratigraphic level of these Triassic deposits. In this scenario, the AMG registers a very

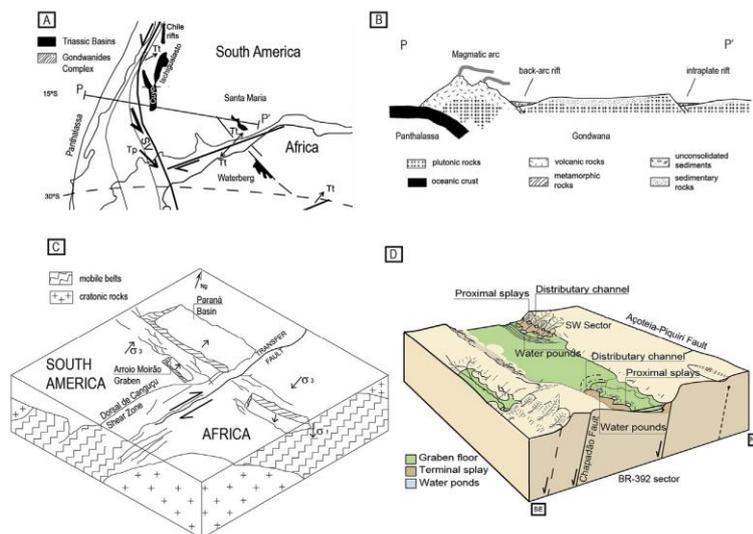


Fig. 15. Tectonic model for the southwestern Gondwana during Middle to Late Triassic (after Zerfass et al., 2004 and Zerfass et al., 2005) displaying the relationship between stress field and the Triassic sedimentary basin. A) Paleogeographic reconstruction of southwestern Gondwana. Sinistral shear zone associated transpressional stresses (Tp). Dextral shear zones are accommodation zones developed by the reactivation of ancient structures (Tt); B) Idealized cross-section by the Middle and Late Triassic; C) Block diagram for the Southwestern Gondwana displaying the configuration of the rift basin in the Middle to Late Triassic. D) Tectonic model for the Arroio Moirao Graben (modified from Gawthorpe and Leeder, 2000) displaying the relationship between the basement structures and Triassic terminal splay model (sensu Fisher et al., 2008).

particular time-span of the Triassic basins. The basal discordant contact with the basement represents an uplift pulse that eroded the previous sequences, followed by a subsidence that registers the Carnian Candelária Sequence.

Acknowledgments

This paper is part of the Master's project by the main author supported by CAPES/PROEX UFRGS geoscience post graduation program. Thanks for L. éo A. Hartmann for the English revision and Luis Alberto D'Ávila Fernandes and Amanda Goulart Rodrigues for the discussion.

References

- Almeida, F.F.M., 1969. Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. In: Anais do 23^o Congresso Brasileiro de Geologia, pp. 29–46.
- Almeida, F.F.M., 1981. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. In: III Simpósio Regional de Geologia, vol. 1. SBG-SP, pp. 1–20.
- Andreis, R.R., Bossi, G.E., Montardo, D.K., 1980. O grupo rosário do sul (triássico) no Rio Grande do sul, Brasil. In: SBG, Anais do 2^o Simpósio Brasileiro de Geologia, pp. 659–673.
- Barberena, M.C., 1977. Biostratigrafia preliminar da Formação Santa Maria. Pesquisas 7, 111–129.
- Barberena, M.C., Araújo, D.C., Lavina, E.L., Azevedo, S.A., 1985. O estado atual do conhecimento sobre os tetrápodes permianos e triássicos do Brasil Meridional. Coletânea Trabalhos Paleontológicos, MME-DNPM, Série Geologia. Seq. ao Paleontol. 27 (2), 21–28.
- Chemale Jr., F., 2000. Evolução geológica do escudo sul-riograndense. In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), Geologia Do Rio Grande Do Sul. CIGO/UFRGS, Porto Alegre, pp. 13–52.
- Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L., Fan, J.-X., 2015. ICS Int. Chronostratigraphic Chart 36, 199–204.
- Cordani, U.G., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., Porto, R., Thomaz Filho, A., Cunha, F.M.B., 1984. Estudo preliminar de integração de pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares Brasileiras. Revista. Ciência Técnica do Petróleo 15, 70.
- Daly, M.C., Lawrence, S.R., Diemu-Tshiband, K., Matouana, B., 1992. Tectonic evolution of the cuvette centrale, Zaire. J. Geol. Soc. 149 (4), 539–546.
- Da Rosa, A.A.S., 2015. Geological context of the dinosaur form-bearing outcrops from the Triassic of Brazil. J. S. Am. Earth Sci. 61, 108–119.
- Da Rosa, A.A.S., Faccini, U.F., 2005. Delimitação de blocos estruturais de diferentes escalas em sequências mezozóicas do Estado do Rio Grande do Sul: implicações bioestratigráficas. Gaea 1, 16–23.
- Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., 1995. Evolução tectônica do cinturão Dom Feliciano no escudo sul-riograndense: parte I e Uma contribuição ao a partir do registro geológico. Rev. Bras. Geociências 25 (4), 351–374.
- Ferreira, M.L., 2015. Análise tectônica dos relictos da Bacia do Paraná sobre o Escudo Sul-Riograndense. Final Paper. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Fisher, J.A., Krapf, C.B.E., Lang, S.C., Nichols, G.J., Payenberg, T.H.D., 2008. Sedimentology and architecture of the douglas creek terminal splay, lake eyre, central Australia. Sedimentology 55, 1915–1930.
- Gawthorpe, R.L., Leeder, M.R., 2000. Tectono-sedimentary Evolution of Active Extensional Basins: Basin Research, vol. 12, pp. 195–218.
- Gordon Jr., 1947. Classification of the Gondwanic Rocks of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande Do Sul, vol. 38. Notas preliminares e estudos. Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional de Produção Mineral, pp. 1–19.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., 2000. The triassic taphoflora from Paraná basin, southern Brazil: an overview. Rev. Bras. Geociências 30 (3), 477–481.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Iannuzzi, R., 1999. The Triassic taphoflora of the Paraná Basin, southern Brazil: a biostratigraphical approach. J. Afr. Earth Sci. 29 (1), 243–255.
- Hartmann, L.A., Chemale Jr., F., Philipp, F.P., 2007. Evolução geotectônica do Rio Grande do sul no pré-cambriano. In: Iannuzzi, R., Frantz, J.C. (Eds.), Geologia Do Rio Grande Do Sul. CIGO/UFRGS, Porto Alegre, pp. 99–123.
- Hartmann, L.A., Porcher, C.C., Remus, M.V.D., 2000. Evolução das rochas metamórficas do Rio Grande do Sul. In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), Geologia Do Rio Grande Do Sul. CIGO/UFRGS, Porto Alegre, pp. 13–52.
- Holz, M., Kuchle, J., Philip, R.P., Bischoff, A.P., Arima, N., 2006. Hierarchy of tectonic control on stratigraphic signatures: base-level changes during the Early Permian in the Paraná Basin, southernmost Brazil. Journal of South American Earth Sci. 22, 185–204.
- Holz, M., Souto-Ribeiro, A., 2000. Taphonomy of south-Brazilian triassic vertebrates. Rev. Bras. Geociências 30 (3), 491–494.
- Horn, B.L.D., Pereira, V.P., Schultz, C.L., 2013. Calcretes of the Santa Maria supersequence, Middle triassic, Rio Grande do sul, Brazil: classification, genesis and paleoclimatic implications. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. 376, 39–47.
- Horn, B.L.D., 2016. Análise sedimentológica da Supersequência Santa Maria e suas implicações estratigráficas. PhD Thesis. Universidade Federal do Rio Grande do

- Sul.
- Horn, B.L.D., Melo, T.P., Schultz, C.L., Philipp, R.P., Kloss, H.P., Goldberg, K., 2014. A new third-order sequence stratigraphic framework applied to the Triassic of the Paran ́ Basin, Rio Grande do Sul, Brazil, based on structural, stratigraphic and paleontological data. *J. S. Am. Earth Sci.* 55, 123–132.
- Horn, B.L.D., Melo, T.P., Schultz, Figueiredo, A.E.Q., Mota, F.A., 2015. Recognition of the hyperodapedon assemblage Zone (late Triassic) in a relictual occurrence over the Sul-riograndense shield. *Rev. Bras. Paleontol.* 18 (1), 91–96.
- Jost, H., Bittencourt, M.F., 1980. Estratigrafia e Tect ́nica de uma fra ́o da Faixa de Dobramentos Tijuca no Rio Grande do Sul. *Acta Leopoldinense* 4 (7), 27–60.
- Ketzer, J.M.M., 1997. Cronoestratigrafia das unidades gondu ́nicas preservadas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense (Forma ́o Caneleiras). Master's thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lavina, E.L., 1982. Paleontologia, Estratigrafia e Bioestratigrafia da Forma ́o Sanga do Cabral (Tri ́ssico Inferior do Grupo Ros ́rio do Sul) na Folha de Catucaba. RS. Master's thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (unpublished).
- Linol, B., 2013. Sedimentology and Sequence Stratigraphy of the Congo and Kalahari Basins of South-central Africa and Their Evolution during the Formation and Break-up of West Gondwana. PhD thesis. Nelson Mandela Metropolitan University.
- Linol, B., de Wit, M.J., Milani, E.J., Guillocheau, F., Scherer, C., 2015. New regional correlations between the Congo, Paran ́ and cape-karoo basins of southwest Gondwana. In: de Wit, M.J., Guillocheau, F., de Wit, M.J.C. (Eds.), *The Geology and Resource Potential of the Congo Basin*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Lisle, R.J., Brabham, P., Barnes, J., 2014. Mapeamento Geol ́gico; Guia de campo. Bookman, Porto Alegre, 231 pp.
- Martinsen, O.J., Ryseth, A., Helland-Hansen, W., Fleshe, H., Torkildsen, G., Idli, S., 1999. Stratigraphic base-level and fluvial architecture: ericon sandstone (campanian), rock springs uplift, SW Wyoming, USA. *Sedimentology* 46, 235–259.
- Menegat, R., Scherer, C.M.S., 1993. Forma ́o Caneleiras (RS) Devoniana ou Permo-Tri ́ssica? Crit ́rios para o enquadramento estratigr ́fico das bacias isoladas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense. SIMP ́SIO SOBRE CRONOESTRATIGR. DA BACIA DO PARAN ́ I, 1993. Rio Claro. Resumos expandidos, Rio Claro, UNESP, 90-93.
- Miall, A.D., 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits, a summary. In: Miall, A.D. (Ed.), *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society Petroleum Geologists, vol. 5. Memoir, Calgary, pp. 597–604.
- Milani, E.J., 1997. Evolu ́o tectono-estratigr ́fica da Bacia do Paran ́ e seu relacionamento com a geodin ́mica fanerozoica do Gondwana sul-ocidental. PhD thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Milani, E.J., Faccini, U.F., Scherer, C.M.S., Araujo, L.M., Cupertino, J.A., 1998. Sequences and Stratigraphic hierarchy of the Paran ́ Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. *Boletim IG-USP*, S ́o Paulo, pp. 125–173.
- Milani, E.J., Rangel, H.D., Bueno, G.V., Stica, J.M., Winter, W.R., Caixeta, J.M., Neto, O.C.P., 2007. Bacia do Paran ́. In: *cartas estratigr ́ficas*. Bol. Geoci ́ncias Petrobras (15), 2.
- Milani, E.J., Ramos, V.A., 1998. Orogenias paleozoicas no dom ́nio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsid ́ncia da Bacia do Paran ́. *Rev. Bras. Geoci ́ncias* 28, 527–544.
- Milani, E.J., de Wit, M.J., 2008. Correlations between the classic Parana and Cape Karoo sequences of South America and southern Africa and their basin in flanking the Gondwanides: du Toit revisited. In: Pankurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Wit, M.J. (Eds.), *West Gondwana: Pre-cenozoic Correlations across the South Atlantic Region*, vol. 294. Geological Society of London, Special Publications, pp. 319–342.
- North fleet, A.A., Medeiros, R.A., M ́lmann, H., 1969. Reavali ́o dos dados geol ́gicos da Bacia do Paran ́. *Bol. T ́cnico Petrobras* 12 (3), 291–346.
- Oliveira, E.P., 1918. Regi ́es Carboníferas Dos Estados Do Sul, p. 125.
- Philipp, R.P., Kloss, H.P., Horn, B.L.D., Lima, E.F., Schultz, C.L., 2013a. Contribui ́o ́o evolu ́o tect ́nica da Bacia do Paran ́ na regi ́o de Santa Cruz do Sul e Rio Pardo, RS. In: XIV Simp ́sio Nacional de Estudos Tect ́nicos (unpublished).
- Philipp, R.P., Zvirtes, G., Bruckmann, M., Faccini, U.F., Viana, A.R., Lavina, E., Scherer, C., 2013b. Estruturas tect ́nicas na seq ́o geol ́gica Santana do Livramento-Ros ́rio do Sul-Jaguari: evid ́ncias do Arco de Rio Grande, Bacia do Paran ́. In: RS. XIV Simp ́sio Nacional de Estudos Tect ́nicos (unpublished).
- Plink-Bj ́rklund, P., 2015. Morphodynamics of rivers strongly affected by monsoon precipitation: review of depositional style and forcing factors. *Sediment. Geol.* 323, 110–147.
- Ramos, V.A., Basei, M., 1997. The Basement of Chilenia: an Exotic Continental Terrane to Gondwana during the Early Paleozoic. In: Bradshaw, J.D., Weaver, S.D. (Eds.), *Terrane Dynamics*, vol. 97, pp. 140–143. Christchurch.
- Santana, R.G., 1992. Tetr ́podes f ́sseis da forma ́o Sanga do Cabral (Eotri ́ssico do RS). Master's thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (unpublished).
- Scherer, C.M.S., 1994. An ́lise faciol ́gica e bioestratigr ́fica do Tri ́ssico Superior (topo da Forma ́o Santa Maria) na regi ́o de Candelaria-RS. Master's Thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Schultz, C.L., 1995. Subdivis ́o do Tri ́ssico do Rio Grande do Sul com base em macrof ́sseis: problemas e perspectivas. Comunica ́o do Museu de Ci ́ncia e Tecnologia UBEA/PUCRS. Ser. Ci ́ncias Terra 1, 25–32.
- Schultz, C.L., Scherer, C.M.S., Barberena, M.C., 2000. Biostratigraphy of southern Brazilian middle-upper triassic. *Rev. Bras. Geoci ́ncias* 30 (3), 495–498.
- Sellwood, B., Valdes, P.J., 2006. Mesozoic climates: general circulation models and the rock record. *Sediment. Geol.* 190, 269–287.
- Silva, S.D., 1999. Biostratigraphy of the permian–triassic boundary. In: southern Brazil. *Ameghiniana* 36 (4), 10.
- Sloss, L.L., 1963. Sequences in the cratonic interior of north America. *Geological society of America. Bulletin* 74, 93–114.
- Soares, P.C., Landim, P.M.B., F ́lvaro, V.J., 1974. Avalia ́o preliminar da evolu ́o geotect ́nica das bacias intracrat ́nicas brasileiras. In: *Anais do 28 Congresso Brasileiro de Geologia*, vol. 1. SBG, Porto Alegre, RS, pp. 63–83.
- Soares, M.B., Schultz, C.L., Horn, B.L.D., 2011. New information on riogrande guai-bensis bonaparte, ferigolo and ribeiroi, 2001(eucynodontia, tritheledontidae) from the late triassic of southern Brazil: anatomical and biostratigraphic implications. *An. Acad. Bras. Ci ́ncias* 83, 329–354.
- Tessari, R.I., Picada, R.S., 1966. Geologia da quadr ́cula de Encruzilhada do Sul, Brasil. *Boletim da Divis ́o de Fomento e Produ ́o Mineral, Rio de Janeiro. DNMP* 124, 147.
- Trouw, R.A., de Wit, M.J., 1999. Relation between the Gondwanide Orogen and contemporaneous intracratonic deformation. *J. Afr. Earth Sci.* 28 (1), 203–213.
- Tucker, M.E., 2014. *Rochas Sedimentares; Guia Geol ́gico de Campo*, 4ed. Bookman, Porto Alegre, 294 pp.
- Uliana, M.A., Biddle, K.T., Cerdan, J., 1989. Mesozoic extension and the formation of Argentine sedimentary basins. In: Tankard, A.J., Balkwill, H.R. (Eds.), *Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins*. AAPG Memoir, p. 46.
- Vail, P.R., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part. 3: relative changes of sea from coastal onlap. *AAPG Mem.* 26, 63–81.
- White, L.C., 1908. Relat ́rio final da comiss ́o de estudo das minas de carv ́o de pedra no Brasil: Relat ́rio sobre as "coal measures" e rochas associadas do sul do Brasil, p. 300.
- Wildner, W., Ramgrag, G.E., Lopes, R.C., Iglesias, C.M.F., 2006. Mapa geol ́gico do estado do Rio Grande do sul. *Servi ́o Geol. do Bras.* scale 1, 750000.
- Zal ́n, P.V., Wolf, S., Concei ́o, J.C.J., Astolfi, M.A.M., Vieira, I.S., Appi, V.T., Zanotto, O.A., 1987. Tect ́nica e Sedimenta ́o da Bacia do Paran ́. In: *anais do 3 ́o Simp ́sio Sul-Brasileiro De Geologia. Soc. Bras. Geol.* 1, 441–473.
- Zal ́n, P.V., Wolff, S., Concei ́o, J.C., Marques, A., Astolfi, M.A.M., Vieira, I.S., Appi, V.T., 1990. Bacia do Paran ́. In: *Origem e evolu ́o de Bacias Sedimentares*. Petrobras, Rio de Janeiro, pp. 135–164.
- Zecchin, M., Catuneanu, O., 2013. High-resolution sequence stratigraphy of clastic shelves I: units and bounding surfaces. *Mar. Petrol. Geol.* 39, 1–25.
- Zerfass, H., Lavina, E.L., Schultz, C.L., Garcia, A.J.V., Faccini, U.F., Chemale Jr., F., 2003. Sequence stratigraphy of continental Triassic strata of Southernmost Brazil: a contribution to Southwestern Gondwana palaeogeography and palaeoclimate. *Sediment. Geol.* 161, 85–105.
- Zerfass, H., Chemale Jr., F., Schultz, C.L., Lavina, E.L., 2004. Tectonics and sedimentation in South America during triassic. *Sediment. Geol.* 166, 265–292.
- Zerfass, H., Chemale Jr., F., Lavina, E.L., 2005. Tectonic control of the triassic Santa Maria supersequence of the Paran ́ basin, southernmost Brazil, and its correlation with the Waterberg basin, Namibia. *Gondwana Res.* 8 (2), 163–176.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho definiu uma nova abordagem para os depósitos triássicos preservados sobre o Escudo Sul-Riograndense utilizando o conceito das sequências de alta frequência e atualizando o arcabouço estratigráfico presente na literatura. A proposição destes depósitos como um Cinturão Triássico preservado no Escudo possibilita interpretações que relacionem a deposição, os eventos tectônicos do Gondwana e a preservação destes relictos desde o Carniano da Bacia do Paraná. O Cinturão Triássico é parte de uma bacia extensional intraplaca, relacionado com a Sequência Candelária da seção contínua da Bacia do Paraná pelo conteúdo fossilífero. Estes depósitos são interpretados como a porção proximal da bacia triássica e relacionados diretamente com uma tectônica ativa do Escudo no mesmo período.

Embora um tema clássico da literatura geológica, o Triássico encontra-se longe de ter um entendimento completo e de ampla aceitação pela comunidade científica. Os problemas litoestratigráficos, a discussão da cronocorrelação para o Triássico continental utilizando bioestratigrafia de tetrápodos e os problemas de preservação e exposição das bacias no RS ainda mantém dúvidas na comunidade. Ressalta-se um amplo esforço por parte de autores como Horn (2016) na busca de novas interpretações para o Triássico do RS. Este trabalho apoia a iniciativa de se entender o Triássico à luz da Estratigrafia de Sequências e em conjunto com uma interpretação dos eventos tectônicos mesotriássico do Gondwana.

6. REFERÊNCIAS

Andreis, R.R., Bossi, G.E., Montardo, D.K., 1980. O Grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul, Brasil. In: SBG, Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Geologia, 659 - 673.

Barberena, M.C., 1977. Bioestratigrafia preliminar da Formação Santa Maria. Pesquisas 7, 111 - 129.

Barberena, M.C., Araújo, D.C., Lavina, E.L., Azevedo, S.A., 1985. O estado atual do conhecimento sobre os tetrápodes permianos e triássicos do Brasil Meridional. Coletânea Trabalhos Paleontológicos, MME-DNPM, série Geologia. Seção Paleontologia, 27(2), 21 - 28.

Chemale Jr. F., 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-Riograndense. In Holz, M. & De Ros. L. F. (eds). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. CIGO/UFRGS, 13 - 52.

Da Rosa, A.A.S. 2015. Geological context of the dinosaur form-bearing outcrops from the Triassic of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 61: 108–119.

Faccini, U.F., Schultz, C.L., Figueiredo, C.E., Sangineto, L.R., Soares, S.C. 1990. Sobre a ocorrência de vertebrados fósseis triássicos na região de Santana da Boa Vista (RS). *Ciência e Natura*, 12:103-104.

Gordon Jr., 1947. Classification of the Gondwanic Rocks of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul, vol. 38. Notas preliminares e estudos. Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional de Produção Mineral, 1 - 19.

Hartmann, L.A., Chemale Jr., F., Phillipp, F.P., 2007. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In Iannuzzi, R & Frantz, J.C. (eds). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. CIGO/UFRGS, 99 - 123.

Hartmann, L.A., Porcher, C.C., Remus, M.V.D., 2000. Evolução das rochas metamórficas do Rio Grande do Sul. In Holz, M. & De Ros. L. F. (eds). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. CIGO/UFRGS, 13 - 52.

Holz, M., Souto-Ribeiro, A., 2000. Taphonomy of South-Brazilian Triassic vertebrates. *Revista Brasileira de Geociências* 30 (3), 491-494.

Horn, B. L. D., Pereira, V. P., Schultz, C.L., 2013. Calcretes of the Santa Maria Supersequence, Middle Triassic, Rio Grande do Sul, Brazil: Classification, genesis and paleoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 376, 39-47.

Horn, B.L.D., Melo, T.P., Schultz, C.L., Philipp, R.P., Kloss, H.P., Goldberg, K. 2014. A new third-order sequence stratigraphic framework applied to the Triassic of the Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil, based on structural, stratigraphic and paleontological data. *Journal of South American Earth Sciences*, 55, 123 - 132.

Horn, B.L.D., Melo, T.P., Schultz, Figueiredo, A.E.Q., Mota, F.A., 2015. Recognition of the hyperodapedon assemblage Zone (late Triassic) in a relictual occurrence over the Sul-riograndense shield. *Revista Brasileira de Paleontologia* 18(1), 91 – 96.

Horn, B.L.D., 2016. Análise sedimentológica da Supersequência Santa Maria e suas implicações estratigráficas. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Rio Grande do Sul (99)

Jost, H., Bittencourt, M.F., 1980. Estratigrafia e Tectônica de uma fração da Faixa de Dobramentos Tijucas no Rio Grande do Sul. *Acta Leopoldinense*, 4(7), 27 – 60.

Ketzer, J.M.M. 1997. Cronoestratigrafia das unidades gonduânicas preservadas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense (Formação Caneleiras). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Lavina, E.L., 1982. Paleontologia, Estratigrafia e Bioestratigrafia da Formação Sanga do Cabral (Triássico Inferior do Grupo Rosário do Sul) na Folha de Catucaba, RS. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Lima, L., G., 2016. Inunditos como um modelo sedimentar – identificação no Gráben Arroio Moirão (RS). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Martinsen, O.J., Ryseth, A., Helland-Hansen, W., Fleshe, H., Torkildsen, G., Idil, S., 1999. Stratigraphic base-level and fluvial architecture: Ericson Sandstone (Campanian), Rock Springs Uplift, SW Wyoming, USA. *Sedimentology* 46, 235 – 259.

Menegat, R., Scherer, C.M.S., 1993. Formação Caneleiras (RS) Devoniana ou Permo-Triássica? Critérios para o enquadramento estratigráfico das bacias isoladas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1, 1993, Rio Claro. Resumos expandidos, Rio Claro, UNESP, 90 - 93.

Milani, E.J., 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Oliveira, E.P., 1918. Regiões Carboníferas dos Estados do Sul. Imprensa Nacional 125.

Philipp, R.P., Kloss, H.P., Horn, B.L.D., Lima, E.F., Schultz, C.L., 2013A. Contribuição à evolução tectônica da Bacia do Paraná na região de Santa Cruz do Sul e Rio Pardo, RS. In: XIV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Expanded Abstract submitted for publication.

Philipp, R.P., Zvirtes, G., Bruckmann, M., Faccini, U.F., Viana, A.R., Lavina, E., Scherer, C., 2013B. Estruturas tectônicas na seção geológica Santana do Livramento-Rosário do Sul-Jaguari: evidências do Arco de Rio Grande, Bacia do Paraná. In: RS. XIV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos Expanded Abstract submitted for publication.

Plink-Björklund, P., 2015. Morphodynamics of rivers strongly affected by monsoon precipitation: Review of depositional style and forcing factors. *Sedimentary Geology*, 323,110–147.

Santana, R.G., 1992. Tetrápodes fósseis da formação Sanga do Cabral (Eotriássico do RS). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Schultz, C.L., 1995. Subdivisão do Triássico do Rio Grande do Sul com base em macrofósseis: problemas e perspectivas. Comunicação do Museu de Ciência e Tecnologia UBEA/PUCRS, Serie Ciências da Terra, 1, 25 – 32.

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.

Sellwood, B., Valdes, P. J., 2006. Mesozoic climates: General circulation models and the rock record. *Sedimentary Geology*, 190, 269-287.

Silva, S.D., 1999. Biostratigraphy of the Permian–Triassic boundary. In southern Brazil. *Ameghiniana* 36(4), 10.

Tessari, R. I., Picada, R. S., 1966. Geologia da quadrícula de Encruzilhada do Sul, Brasil. Boletim da Divisão de Fomento e Produção Mineral, Rio de Janeiro, DNMP, 124, 147.

Vail, P.R., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part. 3: Relative Changes of Sea from Coastal Onlap. AAPG Memoir. 26, 63-81.

WHITE, I. C. 1908. Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra no Brasil. DNPM, Rio de Janeiro, 300.

Wildner, W; Ramrag, G. E.; Lopes, R. C.; Iglesias, C. M. F., 2006. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Serviço Geológico do Brasil, scale 1:750000.

Zecchin, M., Catuneanu, O., 2013. High-resolution sequence stratigraphy of clastic shelves I: Units and bounding surfaces. *Marine and Petroleum Geology* 39, 1-25.

Zerfass, H., Lavina, E.L., Schultz, C.L., Garcia, A.J.V., Faccini, U.F., Chemale Jr., F., 2003. Sequence stratigraphy of continental Triassic strata of Southernmost Brazil: a contribution to Southwestern Gondwana palaeogeography and palaeoclimate. *Sedimentary Geology*, 161, 85 - 105.

Zerfass, H., Chemale Jr., F., Schultz, C.L., Lavina, E.L., 2004. Tectonics and sedimentation in South America during Triassic. *Sedimentary Geology*, 166, 265 - 292.

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"CORRELAÇÃO CRONOESTRATIGRÁFICA DO CINTURÃO TRIÁSSICO PRESERVADO NO GRÁBEN ARROIO MOIRÃO (RS)".

Área de Concentração: Estratigrafia

Autor: Guilherme Nunes de Oliveira Borsa

Orientadora: Profa. Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki

Examinador: Prof. Dr. Ernesto Luis Correa Lavina

Data: São Leopoldo, 05 de outubro de 2017

Conceito: Excelente

PARECER:

Considero o trabalho, como um todo, de muito boa qualidade. O aluno explorou um tema muito complexo, que é a verdadeira colcha de retalhos do Triássico da Bacia do Paraná.

A descrição faciológica é suficiente e a documentação fotográfica é de boa qualidade. O modo como foi tratada a evolução do graben do Arroio Mourão é excelente, aliando a evolução tectônica ao conceito de tague terminal. A compreensão da evolução deste tipo de tague aluvial é importante para o sedimentológico. O modelo tectônico é excelente.

Considero que as legendas de algumas figuras são deficientes. Deveriam estar mais detalhadas para explicar melhor a figura.

Para finalizar, considero de fundamental importância o trabalho já estar publicado em um periódico importante. Parabéns ao aluno e sua orientadora.

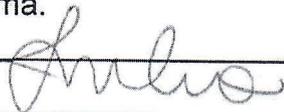
E. Lavina

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“CORRELAÇÃO CRONOESTRATIGRÁFICA DO CINTURÃO TRIÁSSICO PRESERVADO NO GRÁBEN ARROIO MOIRÃO (RS)”
Área de Concentração: Estratigrafia
Autor: Guilherme Nunes de Oliveira Borsa
Orientador: Profa. Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki
Examinadora: Profa. Dra. Caroline Thaís Martinho
Data: 27/09/2017
Conceito: A
PARECER:
<p>A presente dissertação está muito bem escrita, estruturada e coloca o problema de forma bastante clara. Apresenta relevância científica, cumpriu com os objetivos propostos, utilizou metodologia adequada e chegou a conclusões bastante satisfatórias.</p> <p>A dissertação colabora com os estudos dos depósitos triássicos no Rio Grande do Sul, uma vez que correlaciona depósitos triássicos do gráben Arroio Moirão com os depósitos da bacia do Paraná. Descreveu muito bem as seções colunares dos afloramentos estudados e integrou de modo claro os conceitos de sistema deposicional, estratigrafia de seqüências e tectônica para elaborar as conclusões.</p> <p>A dissertação já apresenta um artigo internacional publicado, do qual não tenho comentários a fazer uma vez que o documento já passou pelos revisores e editores da revista.</p> <p>Listarei abaixo alguns comentários e sugestões que não comprometem em nada a qualidade técnica-científica do trabalho:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entre o resumo da dissertação em português e o <i>abstract</i> existem pequenas diferenças na escrita. Essas diferenças deixaram, para mim, o texto do <i>abstract</i> melhor e mais claro do que o texto em português. Por que houve essa diferença? - Na pág. 8 o gráben Arroio Moirão está descrito como tendo “extensão de 47km na direção NW/SE e 27km na direção NE/SW”. No artigo (pág. 18) está descrito ao contrário 47km NE e 27Km SE. Qual dessas está correta? - Na pág.11 senti falta de uma legenda mais bem explicada para a figura 4. Qual é o significado das siglas e símbolos? - Com relação ao artigo tenho observações somente quanto ao formato. O artigo impresso como capítulo da dissertação está com problemas de formatação como espaço no meio de palavras e palavras sem espaço. Há também problemas na acentuação. - Na pág. 20 devido à impressão do número de artigos...

- * Fisher et al 2008;
- * Menegat et al 1994;
- * Menegat 1995;
- * Silva 1999.

Finalizando, parabênzo o autor e sua orientadora pela ótica dissertação e escolha do tema.

Assinatura:



Data: 27/09/2017

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

“CORRELAÇÃO CRONOESTRATIGRÁFICA DO CINTURÃO TRIÁSSICO PRESERVADO NO GRÁBEN ARROIO MOIRÃO (RS)”.

Área de Concentração: **Estratigrafia**

Autor: **Guilherme Nunes de Oliveira Borsa**

Orientadora: **Profa. Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki**

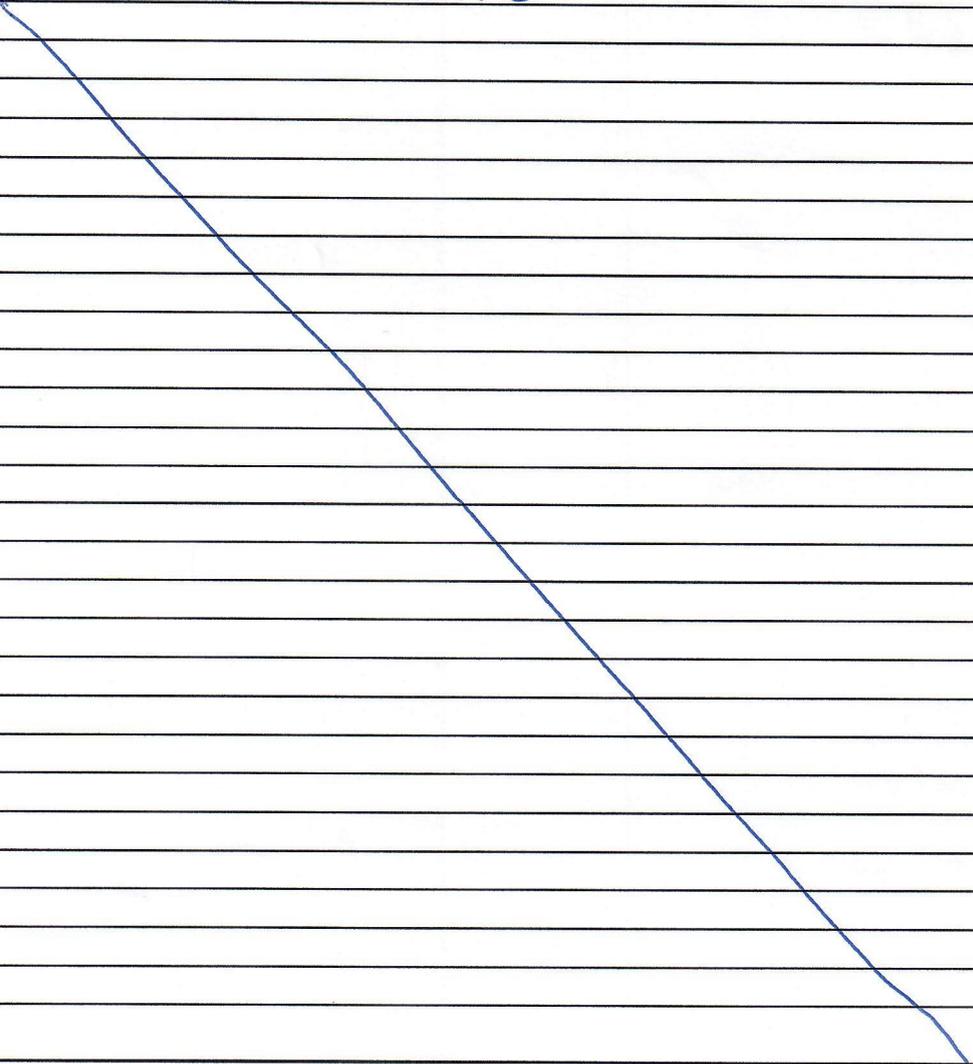
Examinador: **Prof. Dr. Cesar Leandro Schultz**

Data: *16/09/17*

Conceito: *"B" (BOM)*

PARECER:

VER ANEXO



Título: **Correlação cronoestratigráfica do Cinturão Triássico preservado no Gráben Arroio Moirão (RS)**

Área de concentração: **Estratigrafia**

Autor: **Guilherme N. O. Borsa**

Orientadora: **Ana Maria P. Mizusaki**

Examinador: **Prof. Dr. Cesar L. Schultz**

Data: **16/09/2017**

Conceito: **"B" (Bom)**

PARECER

Inicialmente, considero que o título não está perfeitamente adequado ao conteúdo, uma vez que o trabalho não trata especificamente de cronoestratigrafia e sim de correlações lito e aloestratigráficas entre um pacote que se encontra sobre o Escudo com outro que aflora na Depressão Periférica. Além disso, seria necessário informar com qual pacote de rochas o Cinturão Triássico do Gráben Arroio Moirão está sendo correlacionado.

Do ponto de vista formal, o texto do capítulo introdutório está bem escrito e organizado, com poucos erros de digitação. As ilustrações são bem elaboradas e informativas, embora as figuras 1 e 2 necessitem correções (apontadas ao autor diretamente no texto). As referências bibliográficas estão razoavelmente atualizadas, mas considero que uma série de fontes importantes deveriam ter sido consultadas e incluídas, quais sejam:

- BORTOLUZZI, C.A. 1974. Contribuição à geologia da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, 4 (1), p.7-86.
- FACCINI, U. F., 1989. O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul. Uma análise sob o ponto de vista das seqüências deposicionais. *Dissertação de Mestrado*, Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 133p.
- FACCINI, U. F., 2000. Estratigrafia do Permo-Triássico do Rio Grande do Sul: estilos deposicionais versus espaço de acomodação. *Tese de Doutorado*, Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 332p.
- FACCINI, U. F., PAIM, P. S. G., 2001. Estratigrafia de seqüências em depósitos continentais. In: RIBEIRO, H. J. P. S. (Ed.), *Estratigrafia de seqüências - fundamentos e aplicações*. Ed. Unisinos, São Leopoldo, pp. 341-389.
- GAMMERMAN, N. 1973. Formação Rosário do Sul. *Pesquisas*, 2:5-36.
- 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.
- RUBERT, R.R. & SCHULTZ, C.L., 2004. Um Novo Horizonte de Correlação para o Triássico Superior do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 31(1): 71-88.
- SCHERER, C.M.S. 1994. Análise faciológica e bioestratigráfica do Triássico Superior (topo da Formação Santa Maria) na Região de Candelária - RS. Porto Alegre. 100p. *Dissertação de Mestrado em Geociências*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SCHERER, C. M. S. ; FACCINI, U. F. ; LAVINA, L. E. . Arcabouço Estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: Michael Holz; Luís Fernando De Ros. (Org.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 2000, v. , p. 335-354.
- Soares, M. B.; Schultz, C. L.; Horn, B. D., 2011. "New information on *Riograndia guuibensis* Bonaparte, Ferigolo & Ribeiro, 2001 (Eucynodontia, Tritheledontidae) from the late Triassic of southern Brazil: anatomical and biostratigraphic implications". *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 83: 329-354.

Acredito, inclusive, que muitas das inconsistências apontadas adiante tenham sido resultado justamente da falta de consulta a estes trabalhos, que dariam ao autor uma visão mais clara da evolução dos conhecimentos acerca das unidades triássicas no RS, tanto no âmbito da Bacia do Paraná quanto nos relictos existentes sobre o Escudo.

O artigo anexo, por sua vez (o qual não sei se corresponde à versão final publicada), apresenta uma quantidade inaceitável de erros de formatação e digitação, além de alguns aspectos que obrigatoriamente deveriam ter sido observados pelos revisores para que fossem corrigidos, tais como nomes de táxons não escritos em itálico (no texto e nas figuras), informações contraditórias (ex: Table 1 e outras marcadas diretamente no texto) e incoerências de conteúdo, que serão discutidas a seguir.

Em relação ao conteúdo, entendo que, tanto no capítulo introdutório quanto no artigo anexo, é necessário dividir a avaliação em duas abordagens distintas. A parte metodológica, correspondendo à confecção de perfis estratigráficos, descrição e análise de fácies, confecção de seções estratigráficas e proposição de um modelo deposicional, está muito bem desenvolvida (incluindo as ilustrações), demonstrando que o autor possui o domínio destas ferramentas.

Por outro lado, alguns dos pressupostos teóricos utilizados e as conclusões obtidas apresentam problemas, sendo os principais deles os seguintes:

- Desde o início, é apresentada ao leitor a ideia de uma correlação entre o Cinturão Triássico que ocorre sobre o Escudo e a Sequência Candelária, da Bacia do Paraná. Entretanto, o próprio autor menciona ao longo do texto que o pacote sedimentar que se encontra sobre o Escudo já foi interpretado de diferentes maneiras por diferentes autores (desde a Formação Caneleiras de Tessari & Picada, 1966) incluindo camadas de diferentes idades. Nesse contexto, não fica devidamente esclarecido se o pacote em questão (a antiga Formação Caneleiras) é reconsiderado nesse trabalho como sendo inteiramente Triássico (a dúvida é: o aqui denominado Cinturão Triássico equivale a toda a antiga Formação Caneleiras?). Adicionalmente, também não está demonstrado porque o "Cinturão Triássico" corresponde a uma única sequência estratigráfica (a qual seria equivalente à Sequência Candelária em função da presença dos mesmos).

- Assim, pareceu-me que o autor partiu do pressuposto que o Cinturão Triássico que ocorre sobre o Escudo corresponde à Sequência Candelária (*sensu* Horn et al., 2014). Entretanto, o pacote triássico que aflora na área da Bacia do Paraná é composto por 2 supersequências de segunda ordem (Sanga do Cabral e Santa Maria, a qual está subdividida em 4 sequências de terceira ordem), sendo que, dentro destas, ocorrem fácies e associações de fácies muito semelhantes, com algumas se repetindo ao longo do pacote. Desse modo, seria necessário justificar porque algumas partes do pacote estudado sobre o Escudo não poderiam ser correlacionadas a níveis de outras sequências que não a Sequência Candelária;

- Além disso, o autor utiliza a ocorrência de fósseis de rincossauros e de *Dicroidium* para afirmar que todo o pacote estudado pertence à Sequência Candelária. Na realidade, a presença do rincossauro *Hyperodapedon* em um único afloramento (na margem do Arroio Campinas) indica que aquele afloramento faz parte da Zona-Associação (ZA) de

Hyperodapedon (portanto, é um indicador bioestratigráfico). Reforçando esta correlação, as fácies sedimentares onde estes fósseis ocorrem, tanto no Escudo quanto na área da Bacia do Paraná, são exatamente as mesmas. Porém, como se pode ver nas Figuras 2 (do capítulo introdutório e do artigo), a Sequência Candelária abriga duas diferentes biozonas: a ZA de *Hyperodapedon*, que ocorre apenas na porção intermediária da Sequência, e a ZA de *Riograndia*, que ocorre no topo do pacote (o qual corresponderia, em termos litoestratigráficos, à Formação Caturrita (*sensu* Andreis *et al.*, 1980). Entretanto, nem a ZA de *Riograndia* nem a equivalência dos níveis superiores da Sequência Candelária com a Fm. Caturrita foram sequer mencionados nos textos. Por seu turno, a presença de fósseis de *Dicroidium* em outro afloramento (e a fácies onde os mesmos ocorrem) permitiria correlacionar este afloramento com os níveis da base da Sequência Candelária (que corresponderiam em termos litoestratigráficos, ao Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria, sendo que, em nenhum momento do texto, também esta correspondência foi sequer mencionada e incluída na discussão). Nesse contexto, o Cinturão Triássico sobre o Escudo inclui (até o momento) apenas dois afloramentosossilíferos, sendo que um corresponderia à porção basal da Sequência Candelária (pela presença de *Dicroidium*) e outro à porção intermediária desta (devido à presença de *Hyperodapedon*). Entretanto, nas figuras onde aparecem as correlações entre os diversos perfis, bem como nos perfis compostos, o único fóssil que aparece é *Dicroidium* (nas Figs. 11 e 12) na porção intermediária de um dos perfis. Na única figura onde está marcado o registro de *Hyperodapedon* (Fig. 14), este aparece abaixo do nível onde ocorre *Dicroidium*, ao contrário do que ocorre na Sequência Candelária, aspecto este que não foi discutido no trabalho e que já indica um problema nesta tentativa de correlação. Em resumo, concordo que a Sequência Candelária está representada no Cinturão Triássico (pelo menos em dois afloramentos), mas isto não significa que todo o pacote lá presente corresponda à dita Sequência.

- Mesmo que, como proposto no trabalho, o pacote descrito pelo autor sobre o Escudo represente porções proximais de camadas que seriam correspondentes a outras (com fácies mais distais) que afloram na área de ocorrência da Bacia do Paraná, esta correspondência estaria restrita apenas à base da Sequência Candelária (e, ainda assim, com uma inversão na ordem de ocorrência dos fósseis que não foi discutida).

- Com base nos aspectos mencionados acima e em algumas contradições identificadas no texto, considero que faltou um aprofundamento um pouco maior do autor no estudo do histórico dos trabalhos anteriores que compõem o arcabouço teórico referente às unidades triássicas do RS: as diferenças entre as propostas litoestratigráficas de Gordon Jr. (1947), Gammerman (1973), Bortoluzzi (1974) e Andreis *et al.* (1980), a evolução dos arcabouços Bioestratigráficos, passando por Barberena (1977), Barberena *et al.* (1985), Schultz *et al.* (2000), Ruber & Schultz (2004), Abdala *et al.* (2005) e Soares *et al.* (2011), as sucessivas propostas aloestratigráficas, iniciadas por Faccini (1989) e posteriormente aperfeiçoadas por Faccini (2000; 2001), Zeffass *et al.* (2003; 2004; 2005) e Horn *et al.* (2014), além dos diferentes modelos deposicionais propostos para o pacote em questão, desde Gammerman (1973), passando por Faccini (1989), Scherer (1994), Zeffass *et al.* (2003) e Horn *et al.* (2014).

- Da mesma forma, entendo que o histórico dos estudos sobre o pacote sedimentar que ocorre sobre o Escudo, desde a primeira proposição da "Formação Caneleiras" de Tessari

& Picada (1966) até chegar a Lima (2016), passando pelos trabalhos de Menegat (1994; 1995) e Ketzer (1997) deveria ter sido mais detalhado, para caracterizar melhor as diferentes propostas ao longo de tempo e, ao mesmo tempo, deixar claro qual foi o posicionamento adotado pelo autor em relação ao conjunto do que era denominado Formação Caneleiras.

Outras observações pontuais foram feitas ao longo do próprio volume da Dissertação, que será disponibilizado para que o autor delas tome conhecimento, juntamente com o presente parecer.

Porto Alegre, 16/09/2017



Prof. Cesar L. Schuitz

PPGGeo