

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**TAFONOMIA DOS ICNOFÓSSEIS DE VERTEBRADOS  
DA FORMAÇÃO GUARÁ (JURÁSSICO SUPERIOR), RS,  
BRASIL**

**PAULA CAMBOIM DENTZIEN DIAS**

ORIENTADOR – Prof. Dr. Cesar Leandro Schultz

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Karl Ruhe – Instituto de Geologia, Universität Tübingen, Alemanha

Prof. Dr. Bernardo Fonseca Hemm – Instituto de Ciências do Mar,  
Universidade Federal do Amapá

Prof. Dr. Alfonso Tomé Kein – Instituto de Geociências, Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul

Dissertação de Mestrado apresentada  
como requisito parcial para a  
obtenção do Título de Mestre em  
Geociências.

Porto Alegre – 2007

*“Of all the remains of dinosaurs, their footprints bring the animals most  
vividly to life”*

*R. McNeill Alexander*

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro;

Ao meu noivo, Marcelo R. Schwarz, também geólogo, que sempre me incentivou a continuar a caminhada, por compreender meu cansaço e pelo amor inesgotável;

Aos meus pais, Guilherme e Iára, pelo exemplo de pessoas que são, tanto profissionalmente como pessoalmente, e por me auxiliarem e incentivarem minha vida acadêmica. Às minhas irmãs, Bárbara e Laura, por estarem sempre do meu lado.

Ao Dr. Cesar L. Schultz, meu orientador e amigo, que sabiamente me guiou;

As minhas amigas e colegas paleontólogas, Msc. Cristina Bertoni-Machado, Msc. Bianca M. Mastrantonio e Biol. Ana Emilia Q. de Figueiredo, pelos comentários sempre úteis, pela troca de conhecimentos, e principalmente pela amizade que me ajudou a seguir em frente;

A Dra. Marina B. Soares por sempre tirar as minhas dúvidas, pelo auxílio, incentivo e pela amizade;

Ao Coordenador do PPGGeo, Dr. Léo Hartmann, ao Secretário Roberto Martins Pereira e as Auxiliares Administrativas, Letícia Barbosa e Elen de Lima, pelos esclarecimentos e ajuda institucional;

Agradeço aos demais amigos, colegas, e todos que indiretamente auxiliaram e participaram da realização deste trabalho.

## Resumo

Os primeiros registros de icnofósseis para o Mesozóico do Rio Grande do Sul surgiram apenas no final do Século XX. Dentre as unidades dessa Era, a Formação Guará (Jurássico Superior), é a unidade mais rica em icnofósseis (pegadas e trilhas de saurópodes, terópodes e ornitópodes e crotovinas de mamíferos(?)). Seus icnofósseis são encontrados apenas nas fácies eólicas (lençóis de areia e dunas). Nos lençóis de areia, as pegadas não estão bem preservadas devido ao intenso pisoteio e só são reconhecidas devido a deformação das laminações. Em alguns casos é possível ver esta deformação em planta e em perfil. Nas paleodunas, até o momento, só foram encontradas duas pegadas de terópode, mostrando estruturas de escorregamento e a deformação da estratificação, que ocorreu enquanto o pé do animal penetrava na areia, durante a subida na duna. Estas e outras pegadas que podem ser vistas em corte mostram uma boa preservação, indicando que uma pequena quantidade de água estava presente no substrato (< 1%), aumentando significativamente a coesão do sedimento e permitindo a preservação da pegada juntamente com as deformações verticais bem desenvolvidas, além do mais, a preservação destas indica que elas escaparam da erosão ou do pisoteio por terem sido enterradas rapidamente. No mesmo afloramento em que foram encontradas pegadas de terópodes na paleoduna foram encontradas crotovinas, identificadas pela presença de elipses de arenito maciço, com cerca de 20 cm de largura, que ocorrem cortando os *foresets*. Estes icnofósseis representam a única evidência de vertebrados para a Formação Guará, conseqüentemente a preservação dos mesmos é de fundamental importância para o conhecimento dos animais que viveram no Rio Grande do Sul no final do Jurássico.

Palavras chave: Icnofósseis de vertebrados, tafonomia, depósitos eólicos, Formação Guará.

### Abstract

In the state of Rio Grande do Sul, Brazil, eolian facies of the Guará Formation of probable Late Jurassic age, revealed footprints and trackways of dinosaurs, as well as burrows made by small vertebrates (mammals?). All the footprints and trackways are preserved in the eolian facies, including dunes and sand sheets. Footprints made in the sand sheets are not well preserved due to intense trampling and can be distinguished only by deformation of the sandstone laminations. In some cases it is possible to see this deformation on surface and in section. Tracks of theropods, ornithopods and middle-sized sauropods can be identified. Two footprints preserved in the foreset of a paleodune permitted to recognize slide structures and even identify the trackmaker, a theropod. The burrows were found at this same paleodune, cutting horizontally the foresets. They are represented by ribbons of massive sandstone – interpreted as the partial filling of the base of the burrows - covered by little blocks of stratified sandstone – suggesting the collapse of the roof inward the burrow. On an active dune, the softest, most easily deformed substrate underlies the slip face, footprints usually do not show good preservation. However, this site demonstrates that when tracks are made on the dry slip faces of dunes they can be preserved in considerable detail. Because the slip face lies within the zone of flow separation, tracks made on grainflows are better protected from wind erosion than those made on any other dune surface. The good preservation of some footprints indicates that they escaped erosion or further trampling, by rapid burial. There is no record of bone remains in the Guará Formation, consequently, the preservation of these tracks provides an unique evidence of widespread dinosaur activity in southern Brazil during the end of the Jurassic.

**Keywords:** Vertebrate ichnofossils, Taphonomy, eolian deposits, Guará Formation.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| Texto explicativo da estrutura da dissertação _____   | VI |
| 1 Introdução _____  | 08 |
| 1.1 Objetivos _____   | 09 |
| 1.2 Estado da Arte _____  | 10 |
| 1.2.1 Contexto Geológico: Bacia do Paraná _____   | 10 |
| 1.2.1.1 Mesozóico do Rio Grande do Sul _____  | 13 |
| 1.2.1.2 Geologia da Formação Guará (Jurássico Superior?) _____  | 16 |
| 1.2.1.3 Correlações da Formação Guará com unidades do Uruguai<br>(Formação Tacuarembó) e da Argentina (Formação San Cristobál) _____      | 21 |
| 1.2.2 Contexto Paleontológico: O registro prévio dos Icnofósseis de<br>vertebrados do Mesozóico do Rio Grande do Sul _____                | 24 |
| 1.2.2.1 O registro dos Icnofósseis de vertebrados da Formação Guará _   | 28 |
| 1.2.3 Tafonomia de pegadas fósseis _____  | 37 |
| 1.2.4 Paleoecologia de icnofósseis de vertebrados _____   | 42 |
| 1.3 Metodologia _____   | 45 |
| 1.4 Análise Integradora – Tafonomia e inferências paleoecológicas obtidas a<br>partir dos icnofósseis encontrados na Formação Guará _____ | 48 |
| 2 Bibliografia _____  | 52 |
| 3 Artigo submetido para publicação _____  | 59 |
| 4 Anexos _____  | 73 |

### **Texto explicativo da estrutura da dissertação**

Este texto tem por objetivo explicar a estrutura da dissertação adotada pela autora e seu orientador, a qual seguiu rigorosamente as “Normas Para a Apresentação de Dissertações de Mestrado na Forma de Artigos” formuladas pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS.

O primeiro capítulo – Introdução - deve conter, como sub-itens: os objetivos principais da dissertação, o estado da arte do tema principal da dissertação (os Icnofósseis de vertebrados mesozóicos do RS), a Metodologia utilizada e uma Análise Integradora dos resultados.

O estado da arte, por sua vez, abrange os sub-itens intitulados Contexto Geológico, Contexto Paleontológico, Tafonomia de pegadas fósseis e Paleoecologia de icnofósseis de vertebrados. Dentro do Contexto Geológico há uma breve descrição da Bacia do Paraná, na qual estão inseridos o Mesozóico do Rio Grande do Sul, a Geologia da Formação Guará (Jurássico Superior?) e as Correlações da Formação Guará com unidades do Uruguai e da Argentina. Ainda dentro do Estado da Arte é apresentado Contexto Paleontológico que foi dividido em O registro prévio dos Icnofósseis de vertebrados do Mesozóico do Rio Grande do Sul e O registro dos Icnofósseis de vertebrados da Formação Guará. Todos estes itens têm por objetivo introduzir alguns conceitos básicos utilizados na elaboração desta dissertação e o contexto geológico e paleontológico da área de estudo.

Finalmente, a análise integradora contém todos os resultados obtidos neste estudo e algumas discussões.

O segundo capítulo contém a Bibliografia utilizada durante o estudo realizado.

O corpo da dissertação, contido no capítulo 3, chamado de “Artigo submetido para publicação”, é composto por um artigo elaborado pela autora desta dissertação, seu orientador e uma colaboradora. O artigo foi submetido à revista *Journal of South America Earth Sciences* e constitui um estudo Tafônomico e Paleoecológico da Formação Guará. A dissertação é encerrada com o capítulo 4, composto pelos Anexos, no qual estão contidos a carta de recebimento do artigo, juntamente com resumos e artigos

relacionados ao tema da dissertação, publicados pela autora desta dissertação no período em que foi desenvolvido este trabalho.

## 1. INTRODUÇÃO

Ícnofósseis de vertebrados possuem o potencial de prover valiosos dados paleobiológicos, paleoambientais, paleoecológicos e bioestratigráficos. Pegadas e trilhas fósseis revelam evidências sobre a velocidade, postura, direção do deslocamento e comportamento social (Lockley *et al.*, 1994) além de dados sobre a morfologia do pé, distribuição do tecido mole e textura da pele dos animais que as deixaram (Gatesy, 2001). Por sua vez, a morfologia das tocas de alguns animais permite aumentar o conhecimento acerca das condições ambientais da época em que foram construídas (Voohies 1975; Miller *et al.*, 2001; Varricchio, 2007). Além disso, a morfologia e complexidade das tocas podem ajudar a entender os processos pelos quais alguns animais adquiriram o hábito escavador [como fugir e confundir os seus predadores (Laundre, 1989), por exemplo].

Trilhas e tocas produzidas por vertebrados constituem os únicos registros fósseis até o momento encontrados para os depósitos da Formação Guará (Jurássico Superior, Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul) e representam, portanto, as únicas fontes de dados para a obtenção de inferências paleoambientais, paleoecológicas e bioestratigráficas. Todas as informações que puderem ser obtidas a partir dos mesmos serão particularmente importantes na medida em que a Formação Guará representa, até o momento, a única unidade estratigráfica conhecida para o intervalo Eonorianeo-Jurássico [acima da Seqüência Gondwana II (*sensu* Milani, 2004) e abaixo da Formação Botucatu - Seqüência Gondwana III - (*sensu* Milani, 2004)] para a Bacia do Paraná<sup>1</sup>.

Porém, antes dos ícnofósseis serem usados com estes propósitos, é muito importante saber o quanto as características originais dos mesmos foram afetadas pelas condições ambientais existentes na época – ou após – a sua formação. Assim sendo, é necessário, primeiramente, entender como se deu a sua formação e, subseqüentemente, os processos tafonômicos que os afetaram.

---

<sup>1</sup> Entretanto, Scherer (2000) considera os depósitos da Formação Botucatu como sendo de idade Cretáceo Inferior, o que faria com que a Formação Guará constituísse o único registro Jurássico para a Bacia do Paraná (não estando excluída a possibilidade, porém, de que a mesma fosse também de idade Cretáceo Inferior)

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é extrair, com base nos dados obtidos através das análises bibliográficas e dos resultados proporcionados pelas observações de campo, o máximo possível de informações acerca dos icnofósseis de vertebrados do Jurássico do Rio Grande do Sul, representado pela Formação Guará.

A partir do conjunto destes dados paleontológicos e dos dados sedimentológicos e estratigráficos já obtidos por Scherer & Lavina (1997), pretende-se chegar a uma interpretação tafonômica dos icnofósseis de vertebrados, com ênfase nas pegadas de dinossauros, ou seja, compreender como foram geradas e preservadas estas pegadas. Paralelamente, pretende-se inferir acerca da paleoecologia dos animais que deixaram as pegadas e construíram as tocas, bem como tentar correlacioná-las com icnofósseis semelhantes de outras unidades sedimentares, na tentativa de estabelecer um posicionamento bioestratigráfico mais preciso para o pacote em questão.

## 1.2 ESTADO DA ARTE

### 1.2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO: A BACIA DO PARANÁ

A Bacia do Paraná está situada no centro e sudeste da América do Sul e se estende por 1.500.000 Km<sup>2</sup>, aflorando no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai (Fig. 01). Na extensão da Argentina, é conhecida como Chaco-Paraná e apresenta evolução geológica diferente, muito mais ligada ao ambiente de antepaís andino do que intracratônico. Seu conteúdo litológico é constituído por mais de 8.000m de espessura e é formado por rochas sedimentares e ígneas. Sua formação teve início no Período Neo-Ordoviciano, terminando no Neocretáceo (Fig. 02). É uma bacia sedimentar-magmática, plena representante do conceito de bacia intracratônica: encontra-se inteiramente contida na placa sul-americana e não apresenta relacionamento direto com as margens desta placa (Milani, 2004).

O formato atual da bacia reflete fenômenos pós-paleozóicos do continente sul-americano, que subtraíram significativas áreas do contexto deposicional original (Milani, 2004).

Como unidade autônoma de subsidência e sedimentação-magmatismo, a Bacia do Paraná perdurou do Neo-Ordoviciano até o final do Mesozóico, interrompida que foi pelos movimentos da “Reativação Wealdeniana” e a abertura do Atlântico Sul (Almeida, 1969). Nesse transcorrer de tempo geológico, entre 450 Ma e 65 Ma, sucessivos episódios de sedimentação acomodaram seus depósitos no que viria a ser uma bacia de registro policíclico. Seis unidades de segunda ordem (Milani, 1997) constituem seu arcabouço estratigráfico (Fig. 02): Superseqüência Rio Ivaí, Superseqüência Paraná, Superseqüência Gondwana I, Superseqüência Gondwana II, Superseqüência Gondwana III e Superseqüência Bauru.

No Rio Grande do Sul, a deposição da Bacia do Paraná começou no Permo-Carbonífero e cessou no Cretáceo.

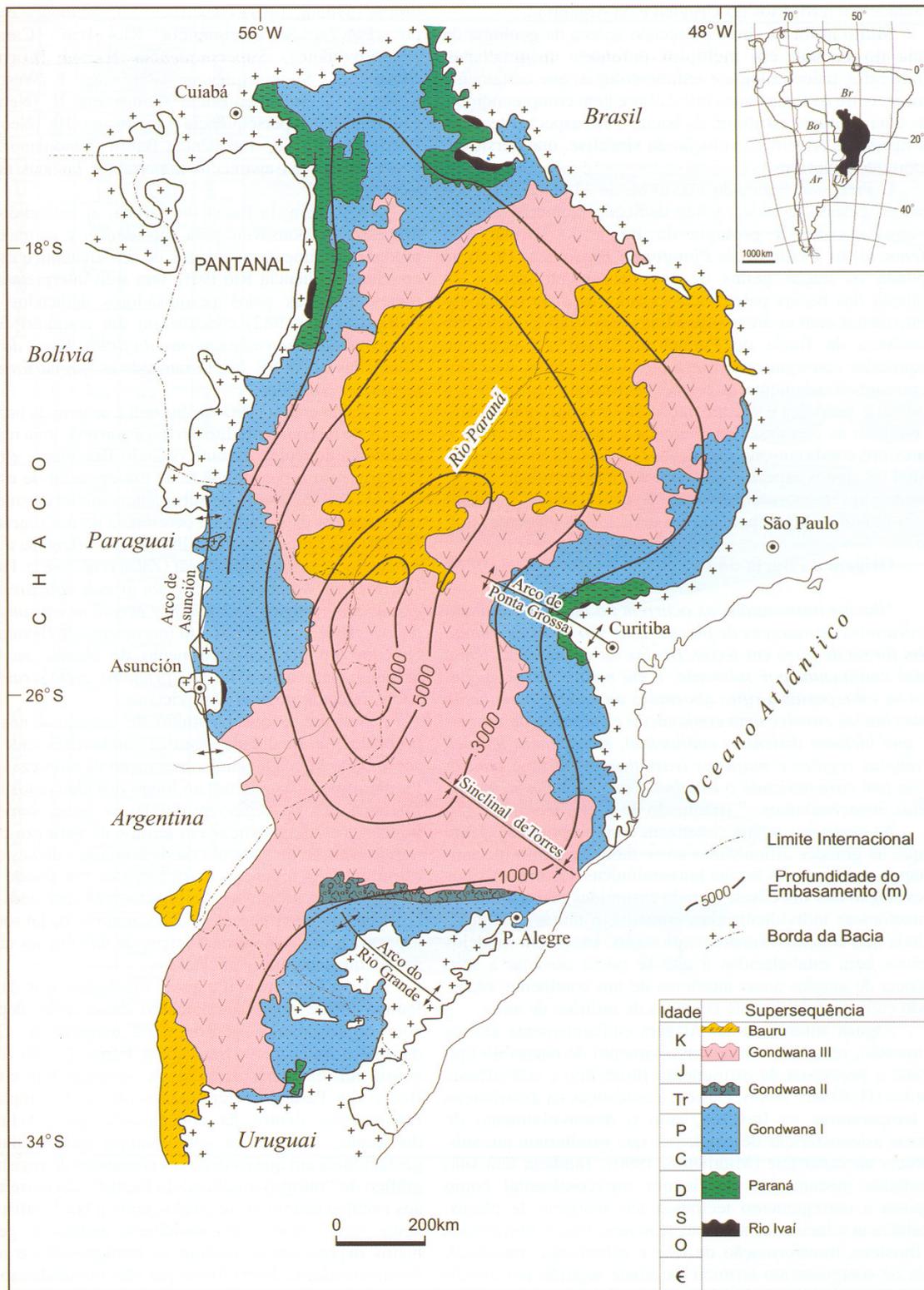


Figura 01: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, mostrando as áreas de ocorrência das Superseqüências e as respectivas idades (Milani, 2004).

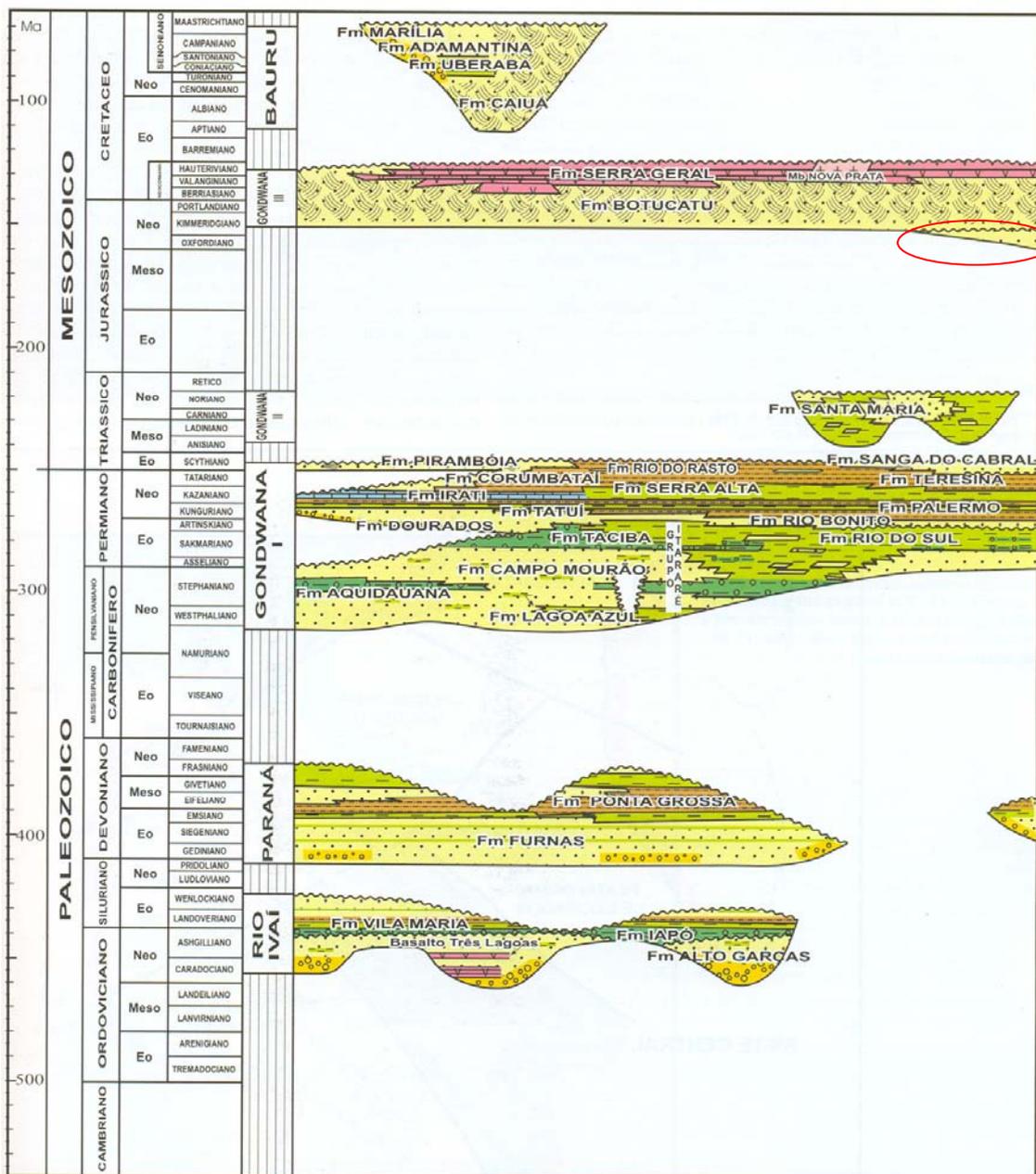


Figura 02: Diagrama crono-estratigráfico da Bacia do Paraná, mostrando as unidades que compõem as seis Superseqüências deposicionais. A elipse vermelha mostra a posição presumida para a Formação Guará (modificado de Milani, 2004).

### 1.2.1.1 O MESOZÓICO DA BACIA DO PARANÁ NO RIO GRANDE DO SUL

O Mesozóico do Rio Grande do Sul começou a ser estudado no início do século passado por White (1908) que correlacionou o pacote sedimentar da Serra do Rio do Rasto, em Santa Catarina, com as rochas da região de Santa Maria, que continham os fósseis de tetrápodes do Triássico já estudados por Woodward (1907), denominando-os de Série São Bento. Oliveira, em 1927, renomeou todo o pacote da Série São Bento como “Arenito Botucatu”.

Em 1947, Gordon Jr. apresentou uma nova classificação estratigráfica para o pacote acima citado, excluindo da Série São Bento a Formação Rio do Rasto (Permiano), sendo que a mesma ficou, então, composta pela Formação Santa Maria, o Arenito Botucatu e a Formação Serra Geral. Além disso, este autor também admite um contato discordante do Arenito Botucatu com as unidades subjacente e sobrejacente, respectivamente, Formação Santa Maria e Formação Serra Geral.

Gamermann (1973) propôs a denominação de Formação Rosário do Sul para o pacote situado entre a Formação Botucatu e o Grupo Passa Dois (Permiano), pacote este que incluía a Formação Santa Maria e seria de idade Triássico. Em 1974, Bortoluzzi sugeriu a designação de Formação Rosário do Sul para referir os pacotes arenosos da base do pacote Triássico, enquanto os pelitos vermelhos sobrejacentes, ricos em vertebrados fósseis, foram denominados Formação Santa Maria. Esta Formação ficou sendo constituída por duas fácies: fácies Passo das Tropas (basal, areno-conglomerática, de origem fluvial) e fácies Alemoa (pelítica, lacustre). Sobrejacentes a estes, os depósitos fluviais, que às vezes continham troncos fósseis, foram posicionados na base da Formação Botucatu (constituindo o Membro Caturrita) e definidos, com certa reserva, como de idade Jurássica.

Andreis *et al.* (1980) propuseram um novo arcabouço litoestratigráfico para o Mesozóico do Rio Grande do Sul. Neste, o Grupo Rosário do Sul passou a ser composto, da base para o topo, pela Formação Sanga do Cabral (equivalente à Formação Rosário do Sul de Bortoluzzi, 1974), pela Formação Santa Maria - composta pelos Membros Passo das Tropas Alemoa - e pela Formação Caturrita. Esta última, anteriormente posicionada no Jurássico, passou a ser incluída no Triássico Superior, como parte do Grupo Rosário do Sul.

Montardo (1982) interpretou a grande variação de espessura da Formação Botucatu, no Rio Grande do Sul, como resultado da preservação da paleotopografia original do campo de dunas, que foi recoberto pelos sucessivos fluxos de lava da Formação Serra Geral. Nesse contexto, interpretou o contato entre as duas Formações como concordante.

Em 1989, Faccini subdividiu o pacote gondwânico em quatro seqüências deposicionais, delimitadas por superfícies erosivas que podem ser rastreadas ao longo da área aflorante da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul:

- Seqüência I: Formações Rio do Rasto e Sanga do Cabral. Andares Tatariano-Eoscytiano;
- Seqüência II: Formação Santa Maria e base da Formação Caturrita. Andares Ladiniano-Eonoriano;
- Seqüência III: Topo da Formação Caturrita. Andar Rético;
- Seqüência IV: Formações Botucatu e Serra Geral. Limite Jurássico/Cretáceo.

Lavina & Scherer (1997) demonstraram que a sucessão de fácies constituída pela interdigitação de sedimentos lacustres, eólicos e fluviais, característicos da Formação Rio do Rasto, passa, em direção ao topo, a ser formada predominantemente por depósitos eólicos, que eram interpretados, tradicionalmente, como constituindo a porção inferior da Formação Sanga do Cabral. Ainda segundo os mesmos autores, a correlação estratigráfica de afloramentos e de poços demonstrou que estes níveis eólicos correspondem, em realidade, à Formação Pirambóia, que aflora na porção centro-norte da Bacia do Paraná (e que era considerada, até então, como sendo a correspondente temporal, naquela porção da Bacia, das Formações Santa Maria e Caturrita, portanto, de idade Triássico). Em síntese, segundo Lavina & Scherer (1997), as Formações Rio do Rasto e Pirambóia correspondem a uma variação vertical e lateral de fácies sedimentares dentro de uma mesma seqüência deposicional, que foi depositada ainda dentro do período Permiano.

As inúmeras feições de interação sedimento-lava levaram Scherer *et al.* (1999) e Scherer (2000, 2002) a acreditar que os derrames basais da Formação Serra Geral teriam coberto campos de dunas eólicas - da Formação Botucatu - ainda ativos. Isto implica em que o final da sedimentação desta última unidade teria ocorrido há aproximadamente 132 m.a., correspondendo ao Eocretáceo (Neocomiano) (Scherer *et al.*, 2000). Este dado, somado à pouca espessura do pacote correspondente à Formação

Botucatu no Estado (na comparação com áreas mais ao norte da Bacia) sugere que todo este pacote caberia, com sobra, dentro do Eocretáceo, não chegando ao Jurássico.

Zerfass *et al.* (2003) subdividiram os estratos Triássicos em duas seqüências de segunda ordem tectonicamente controladas, denominadas Superseqüências Sanga do Cabral e Santa Maria, sendo que a superseqüência Santa Maria foi subdividida em três seqüências de terceira ordem, denominadas Santa Maria 1, Santa Maria 2 e Santa Maria 3 (Fig. 03), respectivamente, da base para o topo. Neste trabalho, pela primeira vez, a Formação Guará foi incluída num diagrama cronoestratigráfico formal referente aos depósitos da Bacia do Paraná, tendo sido posicionada no Cretáceo Inferior com base nos critérios apontados por Scherer *et al.* (1999) e Scherer (2000, 2002).

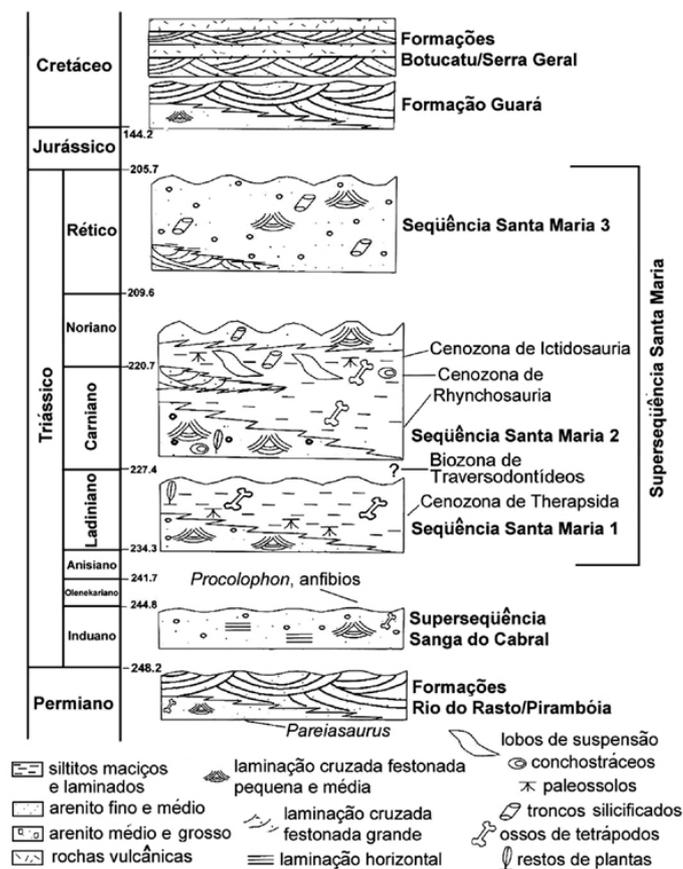


Figura 03: Cronoestratigrafia das unidades Mesozóicas do Sul do Brasil (Zerfass *et al.*, 2003).

Zerfass *et al.* (2003) propuseram ainda que um grande evento erosivo teria ocorrido antes da deposição da Formação Guará, evento este explicaria o fato da referida Superseqüência diminuir de espessura para oeste, até desaparecer, sendo o seu limite ocidental delimitado por um grande lineamento tectônico (Fig. 04).

### **1.2.1.2 GEOLOGIA DA FORMAÇÃO GUARÁ (JURÁSSICO SUPERIOR?)**

Conforme pode ser visto pelos dados até aqui expostos, o Triássico e o Cretáceo da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul são muito bem descritos e documentados. Com relação à parte média do Mesozóico, o Jurássico, a situação é bastante diferente. Desde os trabalhos de Bigarella & Salamuni (1961) e Bigarella (1979) a maioria das colunas estratigráficas referentes à Bacia do Paraná apresentavam a formação Botucatu “preenchendo” todo o intervalo Jurássico. A partir de 1997, porém, Lavina & Scherer descobriram e começaram a estudar, na região oeste do RS, um pacote de arenitos quartzosos esbranquiçados, posicionado entre as Formações Sanga do Cabral e Botucatu, que foi inicialmente denominado Aloformação Guará. Posteriormente, o mesmo pacote recebeu, informalmente, a denominação Formação Guará.

A Formação Guará tem sua área de ocorrência localizada na margem sul da Bacia do Paraná, na divisa do Rio Grande do Sul com o Uruguai e a Argentina (Fig. 04). Litoestratigraficamente é correlacionável, no Uruguai, ao Membro Inferior da Formação Tacuarembó (Scherer & Lavina, 2005). Este, por sua vez, é correlacionável, na Argentina, à Formação San Cristóbal [Silva Busso & Fernandez Garrasino (2004); Padula & Mingramm (1969)]. No Rio Grande do Sul a Formação Guará se estende desde Santana do Livramento até Jaguari.

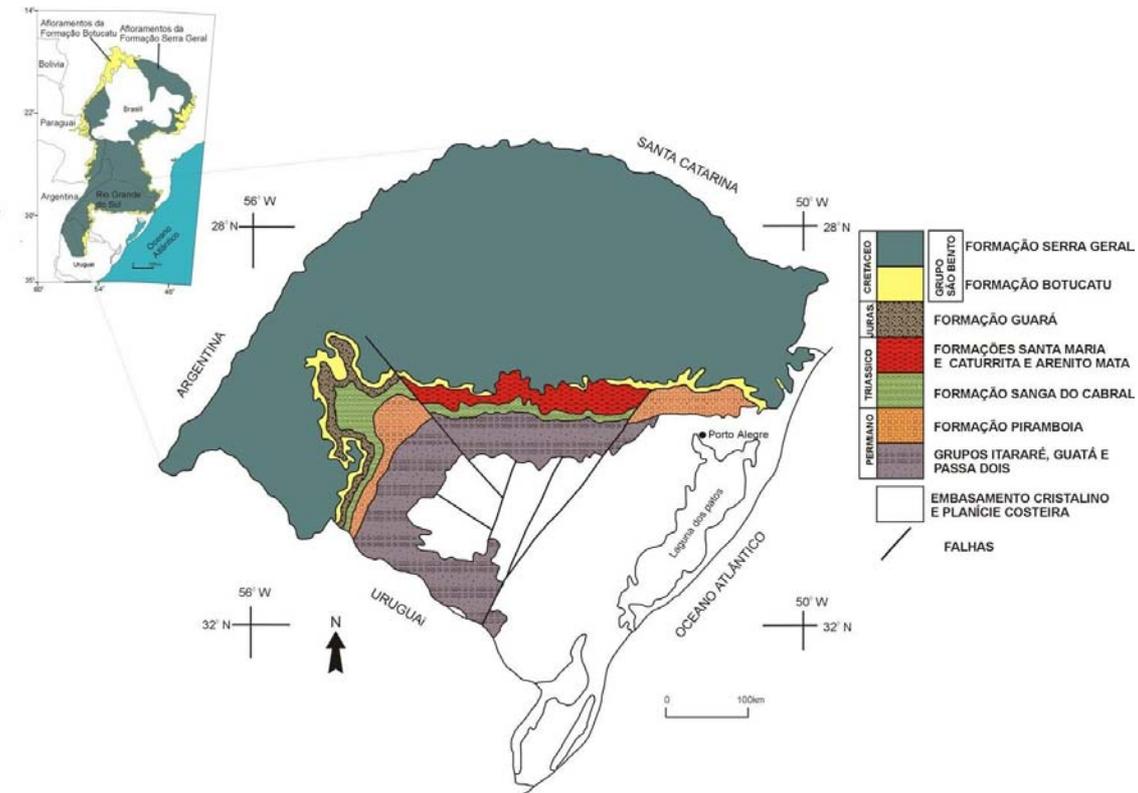


Figura 04: Mapa geológico simplificado das unidades litoestratigráficas neopermianas e mesozóicas do Rio Grande do Sul (modificado de Scherer *et al.*, 2000).

Scherer e Lavina (2005) acreditam que a Formação Guará está limitada, ao Norte, na região de Jaguari, por um sistema de falhas NW-trending, e pode atingir espessura de até 120m, sendo que a espessura média é de 60m, e está limitada por discordâncias com a Formação Sanga do Cabral (inferior) e com a Formação Botucatu (superior). A Formação Guará é caracterizada por uma mudança de fácies ao longo de sua faixa aflorante (Scherer *et al.*, 2000). Ao norte, é caracterizada por arenitos grossos a conglomeráticos e pelitos que foram depositados em um sistema fluvial entrelaçado e ao sul, por arenitos médios a finos, eólicos.

Os arenitos fluviais apresentam um padrão de paleocorrentes para SW, o que os diferencia dos depósitos fluviais Triássicos (para N). Esta mudança no padrão de paleocorrentes é muito significativa, uma vez que indica uma mudança no eixo deposicional da bacia. Outra característica marcante é o fato das paleocorrentes das dunas eólicas da Formação apresentar um sentido preferencial, para NE (Scherer & Lavina, 2005). Esta organização do padrão dos paleoventos difere radicalmente da encontrada no depósito da Formação Sanga do Cabral (unidirecional para SE) (Faccini,

1989), porém semelhante a da Formação Botucatu [unidirecional para NE (Scherer, 1998)] (Fig. 05).

Segundo Scherer e Lavina (2005) a Formação Guará possui quatro distintas associações de fácies, são elas:

- Arenitos com estratificação cruzada de grande porte (simples a localmente composta = dunas eólicas)

São compostos por arenitos finos a médios, de cor esbranquiçada, bem selecionados, com grãos arredondados de alta esfericidade, apresentando estratificação cruzada acanalada de grande porte. Os estratos cruzados são caracterizados pela alternância de fluxo de grãos e queda livre de grãos na porção mais íngreme dos *foresets*, que se interdigitam, em direção à base, com estratos cavalgantes. Os estratos cruzados compostos são formados pela migração de dunas superpostas na parte frontal dos *draas*. Desta forma, as superfícies que separam os *sets* são interpretadas como superfícies de superposição. O sentido unidirecional das paleocorrentes, associado à geometria acanalada dos estratos cruzados, em um corte transversal ao mergulho dos *foresets*, indica que as dunas superpostas também apresentavam uma morfologia crescente, com uma linha ondulada. A orientação média dos estratos cruzados para NE indica que as dunas superpostas migravam na mesma direção das dunas principais. A presença de arenitos finos a médios, bem selecionados, com grãos bem arredondados e com alta esfericidade, associada a estratificações cruzadas de grande porte, compostas por lâminas transladantes cavalgantes, de queda livre e de fluxo de grãos, permite interpretar esta litofácies como depósitos residuais de dunas eólicas. As superfícies que limitam os *bedsets* representam superfícies de interdunas, formadas pelo sucessivo cavalgamento dos *draas*.

- Arenitos com estratificação horizontalizada (lençóis de areia eólicos)

São compostos por arenitos finos a grossos, bem selecionados, com uma distribuição bimodal no tamanho de grão. Formam pacotes com geometrias tabulares, constituídos internamente por uma série de estruturas sedimentares (gradação inversa, marcas onduladas). São distinguidos arenitos horizontalmente laminados, representando a gradação vertical de lençóis de areia eólicos sobre um substrato seco, e também arenitos com estruturas de adesão, evidenciando a deposição de lençóis de areia sobre uma superfície úmida, indicando que o lençol freático encontrava-se próximo da superfície deposicional.

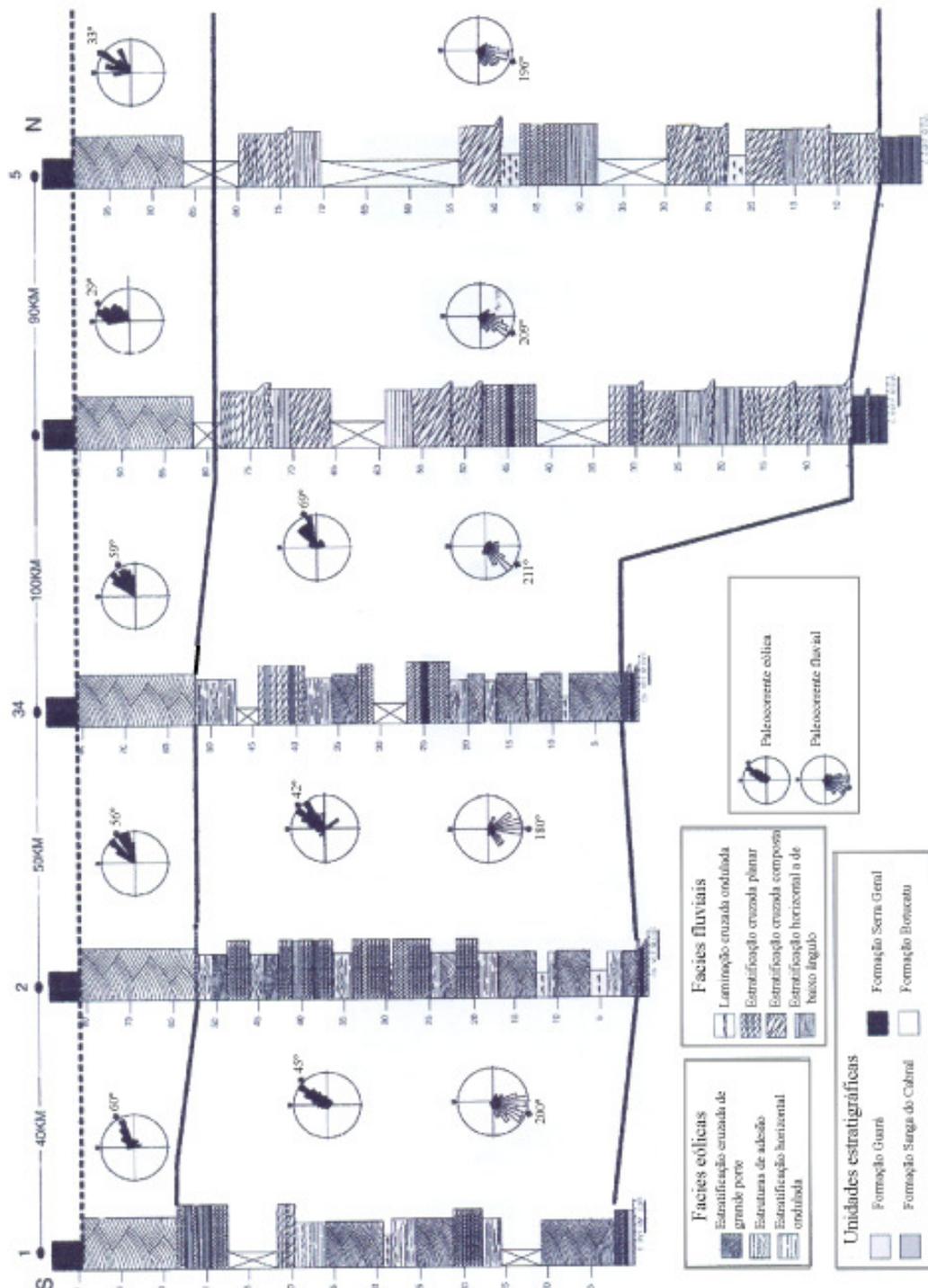


Figura 05: Seção de correlação estratigráfica (N-S), mostrando as Formações Guará e Botucatu, suas superfícies limitrofes, suas associações faciológicas e paleocorrentes (datum: base da Formação Serra Geral) (modificado de Scherer & Lavina, 2006).

- Pelito laminado e arenito maciço (depósitos de *floodflows* distais)

São constituídos por uma associação de pelitos avermelhados, finamente laminados, intercalados, por vezes, com níveis de 0.5 a 5cm de siltitos e arenitos muito finos, com estratificação cruzada de pequeno porte ou laminação plano-paralela, formando pacotes de 0.1 a 1m de espessura. Gretas de contração são por vezes encontradas. A presença dominante de pelitos finamente laminados indica deposição em um ambiente subaquoso de baixa energia, associado a porções mais internas de corpos lacustres. A presença de gretas de contração, nas fácies pelíticas, indica que tais lagos secavam periodicamente.

- Arenitos médios a muito grossos estratificados (canais fluviais)

São caracterizados por arenitos médios a muito grossos, moderadamente selecionados, com grânulos de quartzo. Os arenitos apresentam estratificação cruzada acanalada e planar, dispostos em *sets* com espessuras de 0.1 a 0.5m, com um vetor de paleocorrente para SW. Possuem também estratificação plano-paralela e de baixo ângulo. São interpretados como canais de baixa sinuosidade, devido à ausência de superfícies de acreção lateral e à distribuição fortemente unimodal da paleocorrente.

### 1.2.1.3 CORRELAÇÕES DA FORMAÇÃO GUARÁ COM UNIDADES DO URUGUAI (FORMAÇÃO TACUAREMBÓ) E DA ARGENTINA (FORMAÇÃO SAN CRISTÓBAL)

A Formação Tacuarembó ocorre, em superfície, ao Norte do Uruguai, numa faixa de direção Norte-Sul, que vai da cidade de Rivera até o Sul da localidade de Martinote, possuindo, aproximadamente, 115Km de comprimento e 35Km de largura (Fig. 19).

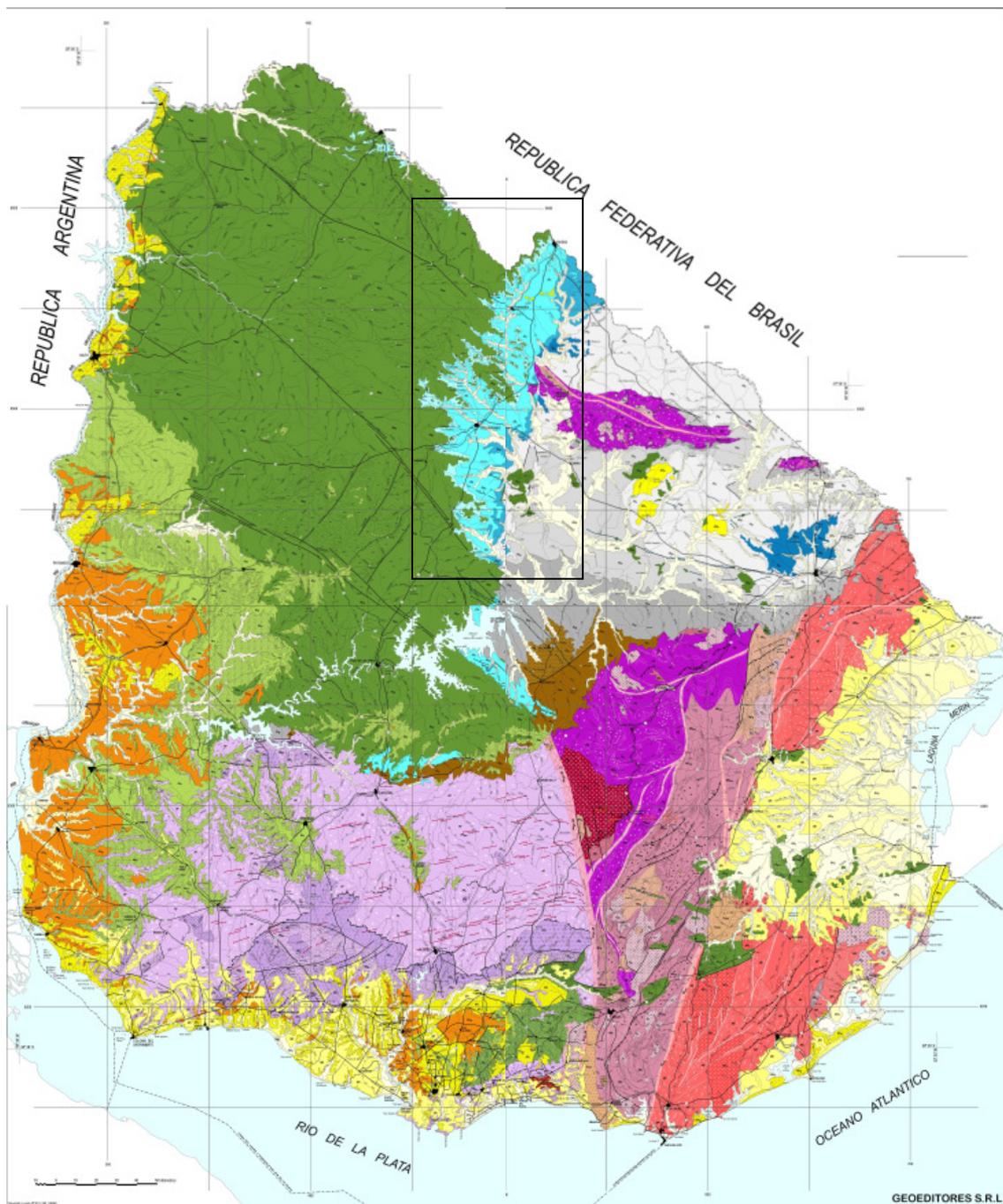
Esta unidade se caracteriza por uma sucessão de estratos de arenitos quartzosos a quartzo-feldspáticos, de granulometria fina a média, que apresentam estratificações cruzadas e planares, intercaladas com pacotes de pelitos e argilitos, de espessuras variáveis. Ocasionalmente, ocorrem intercalações de níveis conglomeráticos arenosos, com intraclastos de pelitos e arenitos (Santa-Ana & Veroslavsky, 2003). É subdividida em dois membros: um inferior, de origem fluvial, e outro superior, de origem eólica, o qual corresponde, no Brasil, à Formação Botucatu.

O Membro Inferior, segundo Scherer & Lavina (1997), corresponde à Formação Guará e constitui-se de uma sucessão de arenitos finos e muito finos, com intercalações de arenitos médios e pelitos. Arenitos grossos e ruditos são raros.

Os arenitos, em geral, formam camadas com espessuras que variam entre 1cm a 2m. Os contatos entre as litologias arenosas podem ser erosivos, plano-nítidos ou gradacionais. Eles possuem estruturas sedimentares de vários tipos: tabular planar, tabular tangencial, laminação, às vezes mostrando ordenação granocrescente e outras granodecrescente, estratificação horizontal plano-paralela a suavemente ondulada e estruturas de canal (Santa-Ana & Veroslavsky, 2003).

Entre os pelitos, são encontrados desde argilitos até siltitos arenosos. Os pelitos se apresentam de forma maciça ou laminada. A espessura dessas camadas raramente passa de 10cm. Em certos locais, são encontradas gretas de contração preenchidas por arenito muito fino. Em alguns níveis pelíticos são encontrados conchostráceos. É do Membro Inferior que provêm todos os fósseis da Formação Tacuarembó.

Foram ali encontrados escamas de peixes ganóides, que provavelmente representam diferentes espécies de Semionotiformes, entre as quais se pode identificar o gênero *Lepidotes* (Perea & Martínez, 2003).



 Formação Tacuarembó

Figura 19: Mapa geológico do Uruguai (modificado de Bossi *et al.*, 1998). O retângulo mostra a área de ocorrência da Formação Tacuarembó.

Mones (1980) descreveu um fragmento anterior do crânio de um crocodilo de rostro comprido e estreito, o qual denominou *Meridiosaurus vallisparadis*. Esta espécie é exclusiva da Formação Tacuarembó. Também foram encontrados

ostracodes preservados como moldes, além de dentes e coprólitos de vertebrados. Foram descritas duas novas espécies de bivalves do gênero *Diplodon* e um molusco gigantesco, com 30cm de comprimento, *Tacuarembia caorsii* (Martínez *et al.*, 1993).

Foi descrito também um tubarão de água doce, que foi determinado como *Priohyodus cf. arambourgui* (Perea *et al.* 2001), sendo que esta espécie é encontrada também em sedimentos do Jurássico Superior e Cretáceo Inferior da África e da Península Arábica. Associados a este tubarão foram achados dentes de dinossauros terópodes.

Yanbin *et al.* (2002) descreveram conchostráceos do gênero *Migransia*, espécie que apresenta grande semelhança com outras do Jurássico Superior e Cretáceo Inferior da Bacia do Congo e da China, especialmente com aquelas do Jurássico Superior.

O Membro Superior da Formação Tacuarembó apresenta uma sucessão de arenitos finos a médios, fundamentalmente quartzosos, com boa a muito boa seleção. As estruturas são estratificações cruzadas cuneiformes, planares e acanaladas, em geral de grande porte. Observam-se, também, laminações cruzadas do tipo *translatent climbing ripples* e fluxo de grãos (Lavina *et al.*, 1985).

Perea *et al.* (2007) correlacionam os membros Superior e Inferior da Formação Tacuarembó com as Formações Botucatu e Guará e através do conteúdo fóssilífero como o tubarão de água doce *Priohyodus arambourgi* D'Erasmus como sendo do Jurássico Superior e Cretáceo Inferior.

Padula & Mingramm (1969) afirmam que a Formação San Cristóbal, na Argentina, é correlacionável à Formação Tacuarembó do Uruguai. Na Argentina, a Formação San Cristóbal só é encontrada em subsuperfície (Silva Busso & Fernandez Garrasino (2004); Padula & Mingramm (1969)), de modo que os conhecimentos sobre a mesma são escassos. A Formação San Cristóbal está presente no subsolo da região Chaco-Mesopotamia, Província de Entre Rios, nordeste da Argentina.

Padula & Mingramm (1969) descrevem a Formação San Cristóbal como composta por arenitos médios a finos, ocasionalmente conglomeráticos. Estratificações de dunas eólicas são comuns; estratificações paralelas ou indefinidas são subordinadas. Lutitos também são descritos, com acamamentos paralelos a laminares. Foram encontrados escamas, placas e dentes de vertebrados, entretanto, estes fósseis não esclarecem a idade da Formação San Cristóbal.

### 1.2.2. CONTEXTO PALEONTOLÓGICO: O REGISTRO PRÉVIO DE ICNOFÓSSEIS DE VERTEBRADOS PARA O MESOZÓICO DO RIO GRANDE DO SUL

Atualmente, além da Formação Guará, são conhecidos icnofósseis de vertebrados, no RS, na Formação Sanga do Cabral (Triássico Inferior), na Formação Santa Maria (Triássico Médio e Superior), na Formação Caturrita (Triássico Superior) e na Formação Botucatu (Cretáceo), todas pertencentes à Bacia do Paraná. Entretanto, os primeiros registros de icnofósseis de vertebrados para o Mesozóico do Rio Grande do Sul surgiram apenas no final do Século XX, sugerindo que muitos novos registros deverão vir à tona, se houver uma intensificação nos esforços de prospecção desse tipo de fósseis.

O conteúdo icnológico conhecido para a Formação Sanga do Cabral é composto por duas pegadas isoladas, preservadas sobre barras arenosas de um sistema fluvial (Costa da Silva, *et al.*, 2006b). Segundo os autores, a primeira delas, incompleta, não permite uma identificação precisa, mas apresenta dados suficientes para identificá-la como uma pegada semiplantígrada, com cerca de 10 cm de comprimento, de um pé direito de um arcossauro (Fig. 06).



Figura 06: Pegada atribuída a Archosauria. À esquerda, detalhe do dígito IV, mostrando impressões falangeais (Costa da Silva, *et al.*, 2006b).

A segunda pegada é tetradáctila, plantígrada, com as extremidades arredondadas e sem garras definidas, também com cerca de 10 cm de comprimento (Fig.

07). Estes dados permitiram atribuir a pegada a um Synapsida, provavelmente Dicynodontia.

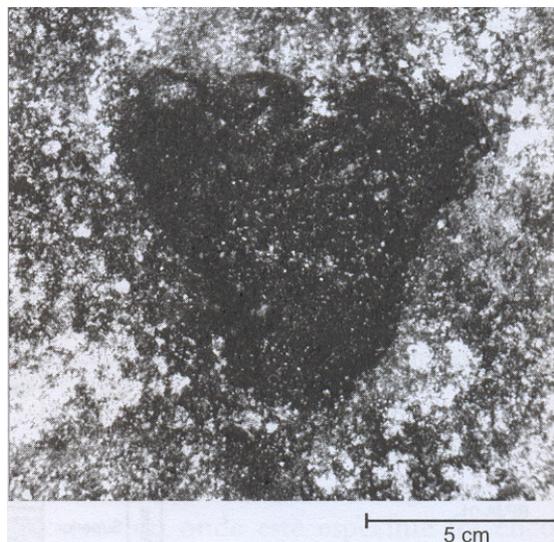


Figura 07: Pegada atribuída a Synapsida, Dicynodontia (Costa da Silva, *et al.*, 2006b).

Para a Formação Santa Maria (Triássico Médio e Superior) foram encontrados e descritos por Souto (2001) coprólitos atribuídos a dicinodontes (Fig. 08), cinodontes e arcossauros. Através do estudo destes coprólitos, o autor conseguiu identificar padrões morfológicos distintos para herbívoros (dicinodontes) e carnívoros (cinodontes e arcossauros) e, ainda, chegou a conclusões paleoecológicas (comportamento gregário para os dicinodontes) e paleoclimáticas (ambiente úmido, devido a bioturbações nos coprólitos).



Figura 08: Coprólito aglomerado atribuído a um dicinodonte (escala 10 cm).

Nos arenitos fluviais da Formação Caturrita também foram encontrados icnofósseis de vertebrados (Costa da Silva, *et al.*, 2006a), constituídos por pegadas

arredondadas, que puderam ser individualizadas dentro de um nível fortemente dinoturbado, com tamanhos variando de 16 a 30 cm de largura e 12 a 27 cm de comprimento (Fig. 09).

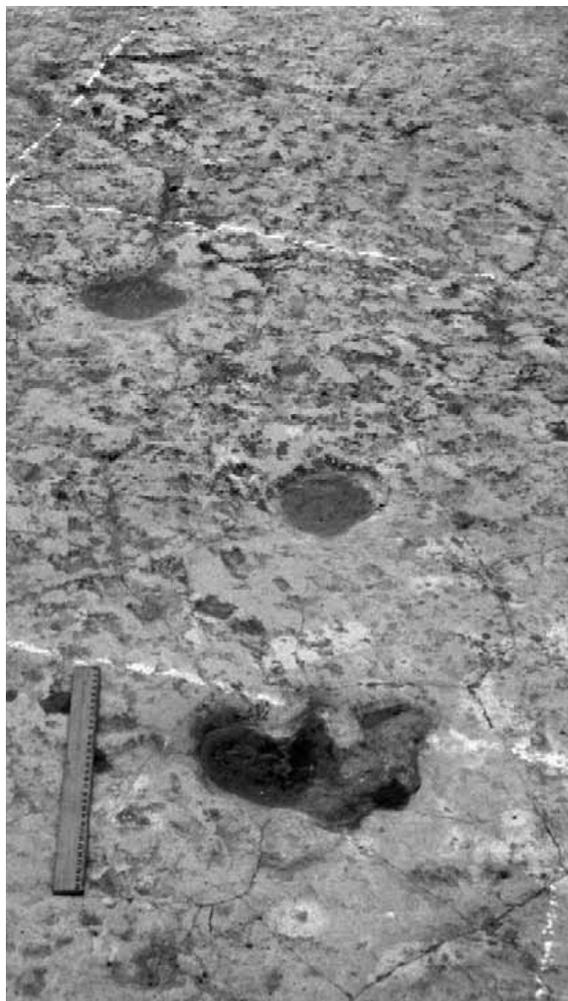


Figura 09: Seqüência de estruturas de deformação tipo “finger-like” (Costa da Silva, *et al.*, 2006a) (escala de 30 cm).

Entretanto, segundo os autores, as pegadas não estão bem preservadas e foram interpretadas apenas como pertencendo a animais de grande porte, sendo algumas delas atribuídas, tentativamente, a Prosaurópodes.

Finalmente, para a Formação Botucatu, existe, para o Rio Grande do Sul, somente o registro de uma placa – uma laje de calçamento retirada de uma calçada - mal preservada e de procedência incerta, contendo trilhas de pequenas pegadas. Esta laje provém da cidade de Santa Cruz do Sul (UFRGS PV-K 001), é composta por pegadas com cerca de 3 cm (Fig. 10) e foi descrita por Leonardi (1989) como sendo de um pequeno dinossauro bípede. Entretanto, em nossa opinião, a bitola sugere que o animal

era quadrúpede. Embora não se possa identificar diferenciação entre pegadas de patas dianteiras e traseiras, isto pode ter acontecido pela sobreposição destas sobre aquelas.

Abaixo desta trilha, é possível ver marcas de uma segunda trilha, menor, mas que não fornece maiores informações, entretanto, a bitola sugere que o animal era bípede.

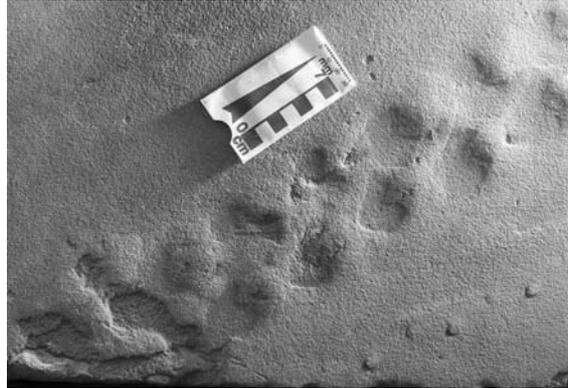


Figura 10: Trilhas em laje da Formação Botucatu, a maior com pegadas de cerca de 3cm (escala 7 cm).

### 1.2.2.1 O REGISTRO DE ICNOFÓSSEIS DE VERTEBRADOS DA FORMAÇÃO GUARÁ

Dentzien-Dias *et al.* (no prelo) descreveram que, na Formação Guará, foram encontrados, nas fácies eólicas, pelo menos 5 afloramentos contendo pegadas de dinossauros e outros icnofósseis. Alguns desses achados já haviam sido preliminarmente referidos por Schultz *et al.*, 2002; Dias *et al.*, 2002 Dias & Schultz, 2003; Dentzien-Dias & Bertoni-Machado, 2005.

O primeiro afloramento onde foram encontrados estes icnofósseis localiza-se na Região do município de Santana do Livramento, na BR-158, próxima do Cerro Palomas (SLCP). Este afloramento é formado, da base para o topo, por uma sucessão de dunas eólicas, interdunas úmidas e sedimentos lacustres, os quais são recobertos por uma nova sucessão de dunas, sendo que o sentido da paleocorrente, em todo o pacote, é para leste.

As pegadas registradas neste afloramento são todas redondas, sem marcas de dedos, e corresponderiam, provavelmente, às patas traseiras de um saurópode (Foto SLCP0054). Não foi possível observar, em associação a estas pegadas, nenhuma marca em forma de meia-lua, que caracterizaria uma pegada de pata dianteira. Isto se deve à má qualidade da preservação e/ou à superposição das pegadas dianteiras pelas traseiras, fenômeno comum em relação este grupo de dinossauros. A morfologia e o tamanho das pegadas sugerem a presença de um saurópode com tamanho corporal semelhante ao de um elefante atual, mas não seriam incompatíveis com as medidas de um prosaurópode como *Riojasaurus* (do Neotriássico da Argentina), por exemplo. Esta observação visa salientar que este padrão - de pegadas grandes e arredondadas - já existia desde o final do Triássico e, portanto não fornece, isoladamente, uma informação mais precisa em termos de idade para o pacote onde se encontra. Todas estas pegadas se encontram na fácies de interdunas úmidas e podem ser observadas tanto em corte vertical quanto em planta, em dois níveis diferentes no mesmo pacote de interdunas. Em planta (Fig. 11 e Fig. 12), observa-se duas trilhas aproximadamente paralelas e várias pegadas avulsas. Uma vez que tanto o substrato no qual a pegada foi produzida quanto seu preenchimento posterior são compostos pelo mesmo tipo de sedimento (areia eólica), não existe uma diferença de resistência, em relação à erosão atual, que pudesse determinar, com nitidez, feições em relevo para as pegadas em questão. Assim, é possível visualizar apenas o contorno das mesmas, indicado pela deformação dos estratos arenosos, onde se forma uma borda levemente ressaltada (Fig.

13). O diâmetro médio das pegadas é de 50cm, medido internamente a estas bordas ressaltadas.



Figura 11: Pegadas de saurópodes em planta. As pegadas em azul e em preto fazem parte de trilhas e as em vermelho, são pegadas isoladas.



Figura 12: Detalhe da trilha esquerda (em azul na figura anterior) de saurópode em planta, as pegadas tem cerca de 50 cm de diâmetro.



Figura 13: Pegada de saurópode na qual é possível visualizar a deformação dos estratos arenosos e a formação de uma borda levemente ressaltada (escala 30 cm)

Em corte, na margem Sul da rodovia (a mesma onde estão as pegadas em planta), observam-se dois níveis contendo trilhas, ambos dentro do pacote de interdunas. Na trilha inferior, maior e mais nítida (Fig. 14), o padrão de deformação do sedimento (que atinge profundidades de até 45 cm) permite visualizar o sentido em que o animal se locomoveu, determinado pela morfologia do fundo das pegadas, sendo que a porção mais profunda indica a pressão exercida pela parte anterior do pé. Isto só é possível porque, no caso, o corte que revela a trilha de pegadas está quase paralelo à direção do passo. Seguindo esta trilha no mesmo sentido que o animal que a produziu (ou seja, de leste para oeste), observa-se, no corte da estrada, que as pegadas vão ficando inicialmente maiores e depois diminuem novamente, até desaparecer, indicando que a trilha faz um ângulo com o corte da estrada, divergindo deste no sentido oeste. Como não ocorrem mais pegadas neste nível, na continuidade do afloramento para oeste, deduz-se que as marcas da trilha correspondem às da pata traseira esquerda do animal. A distância média entre as pegadas desta trilha (passo duplo) é de cerca de

1,20m, enquanto que as trilhas em planta apresentam valores de 1,3m para a trilha Norte – a da direita na figura 10 - e 1,4m para a trilha Sul (ver Fig. 11).



Figura 14: Trilha de saurópode em corte. Em detalhe, pegada em corte com 50 cm de comprimento e profundidade de 45 cm.

Dentro de algumas pegadas observa-se bioturbações relacionadas à presença de invertebrados. Em relação a estes, porém, não foi possível obter informações que pudessem servir de base para inferências taxonômicas ou mesmo bioestratigráficas e paleoecológicas. Segundo Renata Guimarães-Netto (inf. verb.), estas marcas seriam apenas atribuíveis a insetos indeterminados (Fig. 15).

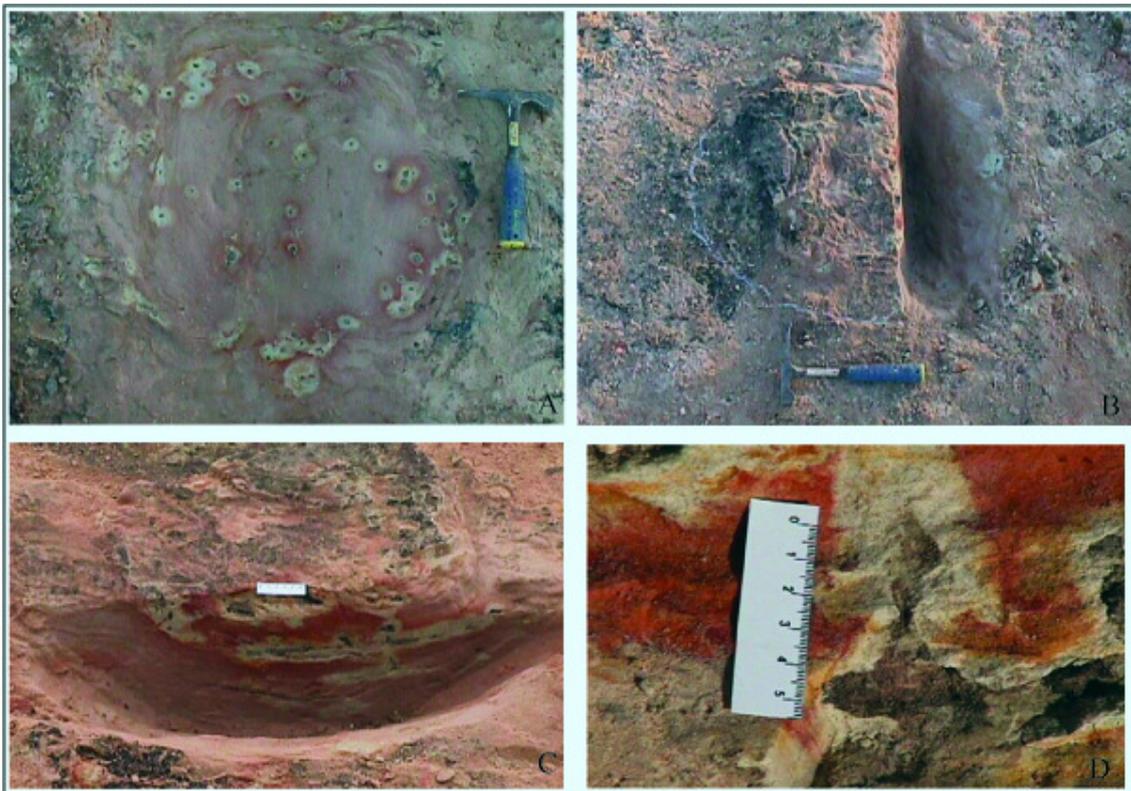


Figura 15: A - Pegada de saurópode e icnofósseis de invertebrados em planta; B – Pegada de saurópode na qual foi feito um corte para visualizar os icnofósseis de invertebrados; C – Corte da pegada de saurópode (escala 6 cm); D - Detalhe dos icnofósseis de insetos.

O segundo afloramento contendo icnofósseis (RSSJ) foi localizado em uma estrada vicinal a oeste da cidade de Rosário do Sul, próximo à nascente da Sanga do Jacaré e é formado somente por paleodunas, cujo sentido de paleocorrentes aponta para Leste (Fig. 16). Apresenta duas pegadas de terópodes (observáveis em corte e em planta) no *foreset* de uma duna, as quais fazem parte de uma trilha que segue para dentro do corte do afloramento.

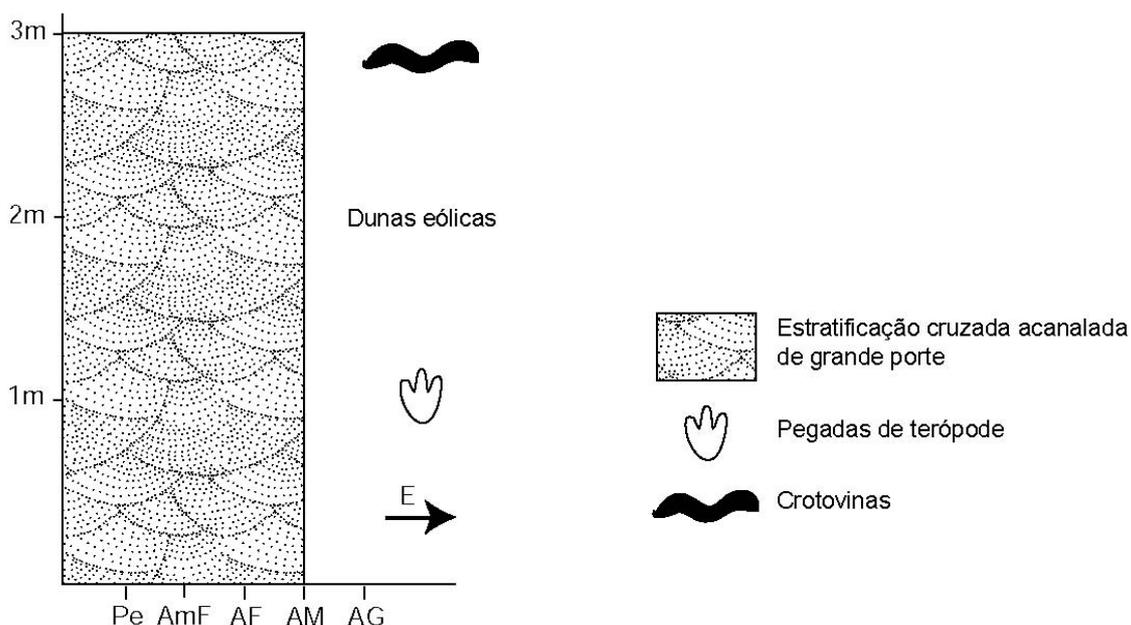


Figura 16: Perfil colunar do afloramento RSSJ. Mostrando a localização das pegadas e das crotovinas no afloramento.

As pegadas da trilha, inicialmente, apareciam apenas em corte e permitiam visualizar apenas a deformação do sedimento e as estruturas de escorregamento, formadas quando o animal subiu a duna. Após a tomada de dados nessa condição de visualização, foi então efetuada uma escavação do afloramento até alcançar o nível da trilha, para expor as pegadas em planta. Este procedimento revelou a presença de pegadas de três dedos, com marcas de garras pontiagudas nas extremidades, tendo a pegada toda um comprimento ao redor de 17 cm. Esta morfologia indica que as pegadas foram feitas por um terópode. Como são apenas duas pegadas, subindo um plano inclinado e escorregando a cada pisada, não foi possível efetuar medidas de ângulos e distâncias. Estima-se, pelo tamanho das pegadas, que este terópode não seria maior que uma avestruz atual.

Na parte superior do afloramento, cortando horizontalmente os *sets* da paleoduna, observa-se um nível contendo cilindros achatados de arenito maciço (Fig. 17 A). Estes “cordões” de arenito apresentam-se lenticulares em corte transversal (Fig. 17 B), com espessuras entre 3 e 10cm e com uma largura regular, ao redor de 20cm, ao longo de seus comprimentos, que variam entre 0,40 e 2,80m. Estas estruturas tendem a ser retilíneas, mas algumas descrevem curvas e há uma aparente bifurcação numa delas. Em alguns pontos, recobrendo estes cordões achatados de areia maciça - e apenas numa faixa de largura correspondente aos mesmos - observa-se um aglomerado de pequenos blocos estratificados (Fig. 17 C), com a mesma composição e estrutura das areias da

duna. O arenito maciço foi interpretado como sendo o sedimento solto que recobriria o piso de paleotocas, enquanto os blocos estratificados que estão imediatamente acima teriam sido originados pelo colapso do teto destas mesmas tocas. Desse modo, em termos descritivos, não temos bem definida nem uma paleotoca nem uma crotovina. A opção, neste trabalho, pela utilização deste último termo, deve-se ao fato de que as feições mais visíveis destas estruturas, no afloramento, são justamente os arenitos maciços resultantes do preenchimento (pelo menos parcial) da porção inferior das tocas. Estas crotovinas, pelo tamanho, seriam compatíveis com escavações feitas por mamíferos, embora não exista nenhuma evidência mais conclusiva neste sentido.

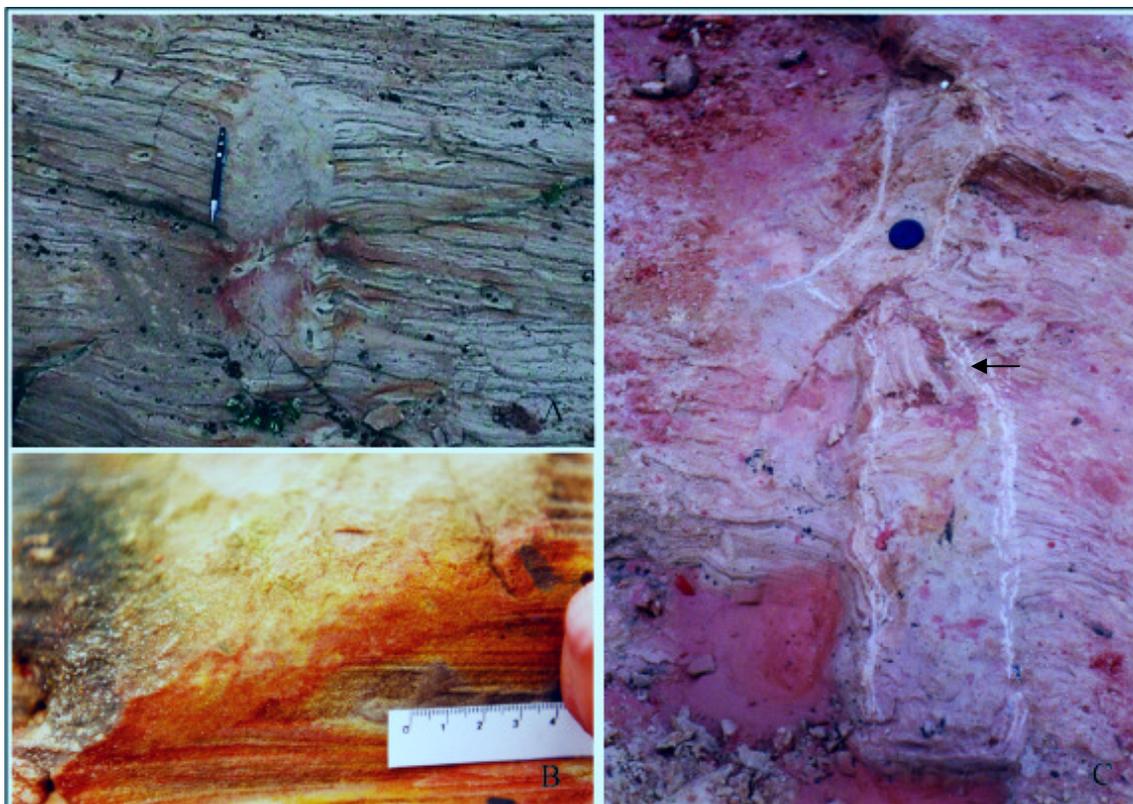


Figura 17: A – Detalhe de um dos cordões de arenito maciço que ocorrem cortando horizontalmente os *sets* da paleoduna; B - Detalhe do arenito maciço cortando os foresets da duna (Obs: A foto está inclinada; o nível de arenito maciço está horizontal e os foresets mergulham para a direita da foto); C - Crotovina com uma possível bifurcação, a seta mostra um aglomerado de pequenos blocos estratificados, acima dos arenitos maciços, interpretados como resultantes do colapso do teto da toca.

O terceiro afloramento no qual foram encontrados icnofósseis de vertebrados (RSCT) também se localiza em uma estrada vicinal a Oeste da cidade de

Rosário do Sul, a Sudoeste do Cerro Torneado. Este afloramento possui, em sua base, paleodunas e, em seu topo, uma seqüência de interdunas secas totalmente bioturbadas. O sentido da paleocorrente das dunas eólicas é Norte. As pegadas, neste afloramento, encontram-se somente na fácies de interdunas.

O nível onde ocorrem às pegadas, que corresponde ao atual leito da estrada, está totalmente bioturbado, aparentemente por uma superposição de pegadas de vários animais. Apesar disto, foram identificadas pelo menos três trilhas de animais bípedes, sendo duas de terópode e a outra de ornitópode. Uma das trilhas de terópode, dirigida para o Sudoeste, apresenta pegadas com 35cm de comprimento e 26cm de largura, o ângulo do passo é de  $148^\circ$  e o passo duplo de 110cm (Fig. 18). A segunda trilha de terópode, com sentido NE, tem pegadas de 22cm de comprimento e 15cm de largura), apresentando o passo duplo com 75cm e o ângulo do passo de  $175^\circ$ . A única trilha de ornitópode (Fig. 18) dirige-se para o Norte, possui o ângulo do passo de  $155^\circ$  e o passo duplo com 120cm. Todas as pegadas estão mal muito mal preservadas, tanto pelo fato do substrato ser do mesmo tipo litológico do preenchimento (areia) quanto pela localização, no leito da estrada, onde passam veículos, pessoas e animais diariamente. No barranco da margem NE da estrada observa-se que as laminações das interdunas estão completamente bioturbadas em vários níveis, reforçando os indícios de que havia um intenso trânsito de animais neste local à época da deposição das camadas.

Os dois últimos afloramentos contendo icnofósseis de vertebrados (ambos apenas com pegadas) na Formação Guará estão localizados na região de Rosário do Sul, um deles próximo ao arroio do Touro Passo e o outro próximo à Granja Santa Vitória. No primeiro, os icnofósseis estão presentes em depósitos de lençóis de areia eólicos, podendo ser observados tanto em planta quanto em corte. No segundo, as pegadas também estão em depósitos de lençóis de areia eólicos, numa camada totalmente bioturbada. Nas fácies fluviais, por sua vez, foi encontrado um único afloramento fossilífero, a sudoeste da cidade de Rosário do Sul, que apresenta pequenos restos de conchas, atribuídas a conchostráceos indeterminados (Dias, 2003).



Figura 18: Vista geral do afloramento. Em primeiro plano, uma trilha de terópode, com pegadas com cerca de 22cm comprimento e de 15 cm de largura; ao fundo, uma trilha de ornitópode, com pegadas em torno de 40 cm.

### 1.2.3 TAFONOMIA DE PEGADAS FÓSSEIS

Os icnofósseis possuem algumas vantagens sobre os restos de organismos: 1) eles sempre ocorrem *in situ*; 2) são registrados com mais frequência em rochas nas quais os fósseis corporais são menos comuns e/ou muitas vezes mal preservados e 3) têm sua visibilidade aumentada pela diagênese, enquanto os fósseis corporais têm seus detalhes estruturais destruídos (Carvalho & Fernandes, 2000). Entretanto, a possibilidade de preservação de pegadas e trilhas (e a sua qualidade) está diretamente vinculada a um conjunto de condições sedimentológicas (tipo de substrato/recobrimento, fácies sedimentares) e tafonômicas.

Tafonomia refere-se ao estudo dos processos de preservação e como eles afetam a informação no registro fóssilífero (Behrensmeyer & Kidwell, 1985), ou seja, o que acontece com os restos de animais e de plantas entre a sua morte e o soterramento final. O interesse em entender se – e como – ossos e outros restos podem ter sido transportados, pisoteados e espalhados depois da morte dos animais tem aumentado nos últimos anos, pois estas informações nos ajudam a entender as condições ambientais nas qual o animal viveu e morreu, além de mostrar que circunstâncias levaram o fóssil a ser bem ou mal preservado (Lockley, 1991).

Os mesmos princípios tafonômicos que afetam os ossos podem ser aplicados a pegadas, embora com pequenas, mas significantes, diferenças. Algumas pegadas de animais pré-históricos podem parecer tão frescas como se tivessem sido feitas ontem. Por outro lado, elas podem ser afetadas pelo vento, água, ou por influência de outros animais (pisoteadas) e deteriorar até um estado que leve à sua má preservação ou destruição. Segundo Lockley (1991), é importante estudar o contexto destas pegadas, para determinar se elas sempre foram de qualidade inferior ou se deterioraram depois que foram feitas. Este estudo ajuda a distinguir entre as propriedades do substrato quando as pegadas foram feitas e as mudanças que afetaram o substrato depois que as pegadas foram formadas.

Antes de uma pegada ser soterrada, e possivelmente fossilizada, a sua sobrevivência depende da interação entre três variáveis (Fig. 20): 1) susceptibilidade à tensão do substrato em que a pegada será formada; 2) stress de sobrecarga na pegada; e 3) retrabalhamento secundário (Cohen *et al.*, 1991).

| Fatores de susceptibilidade à tensão  | Fatores de stress de sobrecarga   | Fatores de retrabalhamento secundário   |
|---|---|---|
| *Quantidade de água;<br>*Composição do sedimento;<br>*Textura do sedimento;<br>*Fábrica sedimentar;<br>*Grau de cimentação; | *Massa do animal, tamanho e forma do pé;<br>*Sobrecarga diferencial (membro posterior vs. Anterior);<br>*Aceleração do animal no impacto; | *Pisoteio secundário (-)<br>*Bioturbação de insetos (-)<br>*Perturbação física (-):<br>Ondas<br>Deflação eólica<br>Superfície de quebra<br>*Superfície seca (- ou +)<br>*Cimentação (+) |

Figura 20: Fatores que influenciam, num curto período de tempo, a preservação de pegadas. (+) fatores que aumentam a chance de preservação, (-) fatores que diminuem a chance de preservação (Cohen *et al.*, 1991).

Dependendo do tempo de exposição das pegadas até o seu soterramento pode ocorrer um *time averaging* (isto é, outros animais, num outro tempo, podem produzir novas pegadas no mesmo nível das anteriores), cujo reconhecimento é importante para a real interpretação de assembléias de pegadas. Mesmo assim, o efeito de um eventual *time averaging* numa assembléia de pegadas é muito menos problemático do que no caso de restos esqueléticos, pois, no primeiro caso, este processo ocorre num espaço de tempo muito menor do que pode acontecer com os restos ósseos, o que é mais um ponto positivo na comparação entre icnofósseis e os fósseis em geral.

Outro fator importante na tafonomia de pegadas é a diferença entre pegada e *undertrack* (Lockley, 1991). A *undertrack* é a deformação que é gerada, pela carga decorrente do peso do animal ao pisar, nas camadas sedimentares abaixo daquela em que foi feita a pegada. As *undertracks* têm maior potencial de preservação porque elas já estão enterradas quando são feitas as pegadas. Assim, quando os sedimentos são retrabalhados por bioturbação ou por erosão, isto pode resultar na destruição das pegadas, deixando somente suas *undertracks* (Fig. 21). A maioria das *undertracks* que se preservam são de animais de grande porte, devido ao grande peso corporal dos mesmos.

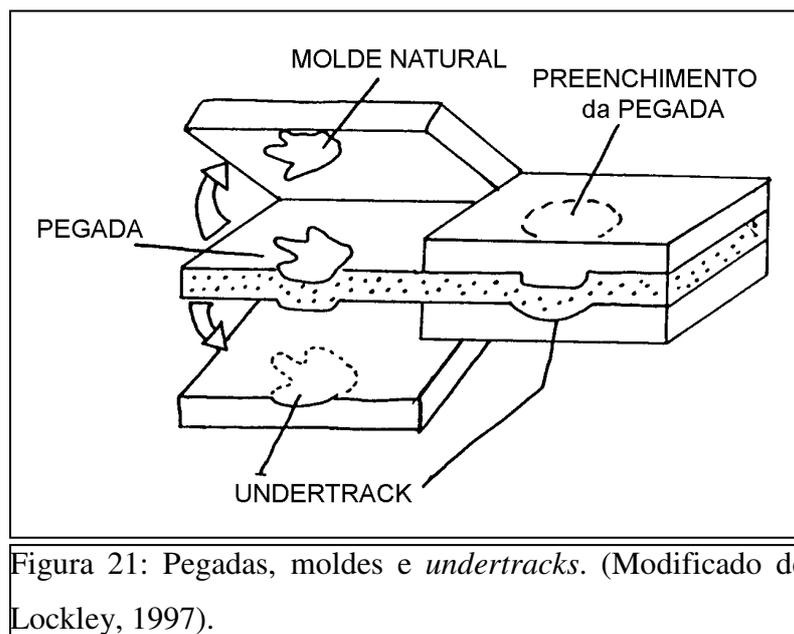


Figura 21: Pegadas, moldes e *undertracks*. (Modificado de Lockley, 1997).

Normalmente, é possível distinguir as *undertracks* das pegadas porque estas possuem menos detalhes que as primeiras e nunca preservam detalhes anatômicos, como marcas de pele, por exemplo. As impressões de dígitos vão ficando maiores, sucessivamente, nas camadas inferiores, até que se perca a forma dos mesmos, gerando uma *undertrack* arredondada (Milan & Bromley, 2006). As *undertracks*, se mal interpretadas, podem fornecer dados falsos, tanto para paleoecologia quanto para a bioestratigrafia (Lockley, 1991), porque não estão no nível estratigráfico onde a pegada verdadeira foi feita.

Pegadas submetidas ao retrabalhamento têm um potencial de preservação muito baixo, assim como as de origem subaquosa (Laporte & Behresmeyer, 1980). Provavelmente, o fator mais importante na preservação de pegadas é a natureza do substrato aonde as pegadas são feitas, com pouca ou nenhuma vegetação. Estudos sugerem que só é possível fazer boas pegadas em substratos que possuam a consistência certa, que pode ser obtida apenas com a presença de umidade (McKee, 1944). Para uma pegada ter uma preservação excepcional, deve ocorrer um rápido endurecimento e cimentação do substrato, o que pode ocorrer em sedimentos coesos. Entretanto, no caso de sedimentos pouco coesos (como no caso das fácies eólicas), que são mais propensos à erosão, as pegadas podem ser submetidas alterações tafonômicas (Lockley, 1986), por exemplo em dunas, os *grain flows* podem facilmente destruir as pegadas.

O sedimento que cobre a pegada, por sua vez, deve ser maleável e resistente e deve ter composição diferente do sedimento do substrato, gerando uma

descontinuidade litológica. Isto facilita, com a ação posterior da erosão, a preservação da própria pegada ou de seu molde (dependendo de qual for à rocha mais resistente à erosão). Sedimentos finos (areias, siltes e argilas), e preferencialmente úmidos preservam melhor as características anatômicas dos pés que os pisam e facilitam o reconhecimento das pegadas (Fig. 22) (Laporte & Behresmeyer, 1980).

Em resumo, as condições necessárias para preservar pegadas são: pouca ou nenhuma vegetação e substrato formado por sedimento úmido e não compactado, coberto por uma camada de sedimento protetora (de composição diferente da do substrato) logo após a passagem do animal (Laporte & Behresmeyer, 1980).

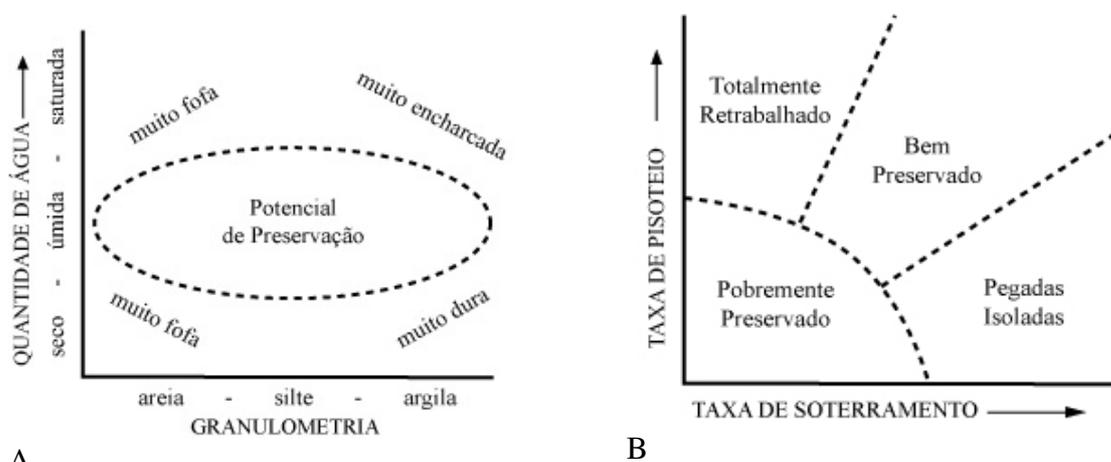


Figura 22: A) Importância da quantidade de água e da granulometria para determinar a qualidade das pegadas; B) Diagrama esquemático relacionando as taxas de pisoteio e de soterramento para a preservação de pegadas (modificado de Laporte & Behresmeyer, 1980).

Segundo Fornos *et al.* (2002), para pegadas serem preservadas em sedimentos pouco coesos e com baixa umidade, elas devem ser feitas num momento em que a areia esteja úmida (por exemplo, depois de uma chuva) ou que seja umedecida pouco antes das pegadas serem soterradas (por exemplo, pegadas feitas em areia seca e umedecidas pelo orvalho noturno). Entretanto, alguns indícios, como laminações dobradas (sem quebra), evidenciam que pegadas podem ser preservadas em areia pouco coesa, sem umidade (Loope, 2006).

A boa preservação de pegadas indica que elas escaparam da erosão e de um posterior pisoteio, por um recobrimento rápido (Radley *et al.*, 1998). Este rápido soterramento deve ter sido causado por um processo de baixa energia. Outro fator

importante para a boa preservação é o tempo decorrido entre o momento em que a pegada foi feita e seu soterramento, que deve ser muito curto (Radley *et al.*, 1998).

Como descrito por Keighley & Pickerill (1997), a verdadeira natureza de um icnofóssil será preservada somente se os fatores tafonômicos forem favoráveis.

### 1.2.4 PALEOECOLOGIA DE ICNOFÓSSEIS DE VERTEBRADOS

Paleoecologia é o estudo das relações entre os organismos e seus ambientes no passado geológico (Currie & Padian, 1997). Os icnofósseis são importantes reconstrutores paleoecológicos porque eles sempre ocorrem *in situ*, enquanto que os fósseis corporais não, além de poderem ficar preservados em rochas nas quais os fósseis corporais não ocorrem (Dodd & Stanton, 1981).

Os icnofósseis provêm uma evidência direta da atividade de animais extintos e revelam a localização exata das áreas que eles freqüentavam. Com relação as pegadas, os locais mais comuns de serem preservadas são depósitos sedimentares ao longo de linhas de costa lacustres, em áreas alagadiças e pântanos, em planícies de inundação e ao redor de rios efêmeros em ambientes áridos ou semi-áridos.

Segundo Lockley *et al.* (1994), através do estudo das pegadas e trilhas podemos aprender os aspectos comportamentais dos indivíduos (velocidade, postura, direção do deslocamento) e através do conjunto das pegadas e trilhas podemos inferir sobre o comportamento social (tamanho e composição de manadas, interação entre predadores e presas).

É praticamente impossível determinar o gênero ou a espécie de animal que fez uma determinada trilha. Entretanto, geralmente é possível determinar um grupo taxonômico mais abrangente ao qual pertenceria o animal que produziu uma determinada pegada ou trilha, já que as estruturas dos pés e os tipos de locomoção variam consideravelmente entre eles.

A dinoturbação, que é o pisoteio ou perturbação do solo ou substratos por dinossauros, ou a bioturbação, num contexto mais geral (Dodson *et al.*, 1980; Lockley, 1991) causa a ruptura do substrato, o que torna difícil medir a quantidade de pegadas. Entretanto, foi criado um Índice de Dinoturbação (Fig. 23) (Dinoturbation Index - Lockley & Conrad, 1989; Lockley, 1991) que classifica o pisoteio como *muito*, *médio* e *pouco*, fazendo uma relação entre o tamanho da área e a quantidade de pegadas.

O Índice de Dinoturbação não mede somente a densidade da população ou o nível de atividade dos animais. O Índice também indica se levou muito tempo para o nível ser coberto por sedimentos, uma vez que a intensidade de pisoteio representa o tempo despendido entre o momento que foi feita a primeira pegada no substrato até o evento deposicional que o soterrou (Lockley, 1991).

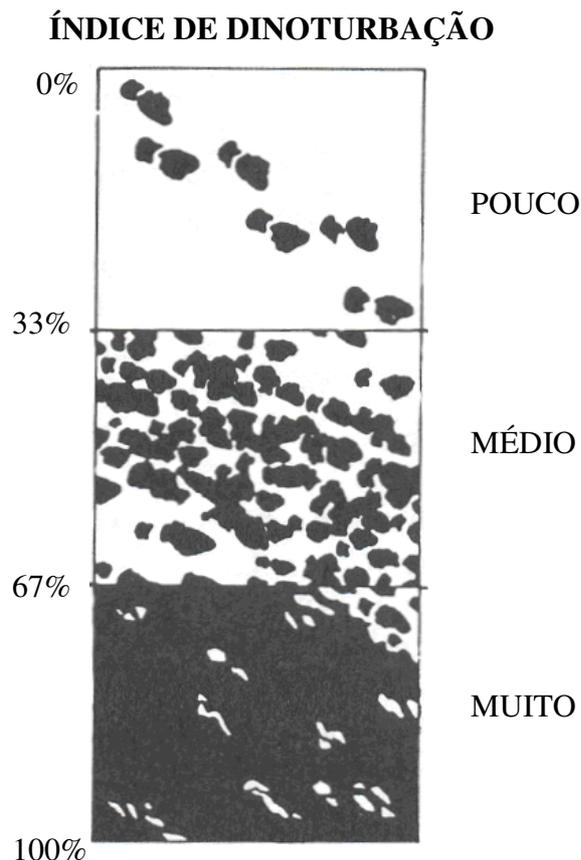


Figura 23: O grau de pisoteio pode ser medido usando o Índice de Dinoturbação (modificado de Lockley, 1991).

Em ambientes áridos e semi-áridos, as camadas muito dinoturbadas ocorrem próximas de lagos e outras fontes de água (Sung Paik *et al.*, 2001) e a taxa de pisoteio é dependente do número de grandes vertebrados na bacia sedimentar e do comportamento destes (Laporte & Behrensmeier, 1980).

Outros icnofósseis, como os coprólitos, ocorrem individualmente ou em massas isoladas nos sedimentos. O reconhecimento é muito difícil, uma vez que a forma dos coprólitos é muitas vezes indistinguível de simples concreções (Sarjeant, 1975).

Através da análise de coprólitos podem-se encontrar fragmentos dos materiais que os organismos utilizavam em sua dieta. Por exemplo, restos vegetais ou restos de outros animais incluídos em coprólitos indicam se o animal que os produziu era herbívoro ou carnívoro e trazem informações sobre a vegetação e a presença de outros animais que viveram naquele local. Este estudo permite recuperar importantes informações do paleoambiente, podendo estabelecer, até mesmo, parte da cadeia alimentar entre os organismos.

As tocas de animais cavadores permitem que os mesmos escapem de condições ambientais severas, através da criação de um micro-ambiente mais propício, dentro das tocas (Voochies 1975; Miller *et al.*, 2001; Varricchio, 2007). A morfologia e complexidade das tocas podem funcionar como defesa contra predadores, que podem ser impedidos de entrar em função do diâmetro, profundidade e comprimento da toca (Laundre, 1989). Tocas complexas e sinuosas podem indicar que o predador possui um tamanho que lhe permita entrar nas mesmas, sendo esta morfologia uma maneira de confundi-lo e permitir a fuga do animal que as escavou (Bronner, 1992).

Os gastrólitos também podem fornecer várias informações de caráter paleoecológico. Para plesiossauros, a hipótese mais aceita é a de que estes deveriam engolir as pedras para servir como lastro. Já para outros animais, não marinhos, há várias outras hipóteses sobre os motivos pelos quais os animais ingeriam-nas, desde a simples ingestão acidental, passando pela necessidade de um suplemento mineral, para desintoxicação, para exterminar parasitas intestinais, como auxiliares na digestão, entre outros (Wings, 2004).

O estudo de icnofósseis é uma importante ferramenta para a interpretação paleoecológica e também pode ser usado na interpretação taxonômica, locomoção, comportamento social, zanação bioestratigráfica e evolução. Estudos recentes em sedimentos marinhos (Lockley, 1997) mostram que os icnofósseis fornecem excelentes evidências paleogeográficas da configuração de linhas de costa, *paleoslope* e saturação do sedimento.

Como os icnofósseis são formados em um momento da história de vida do animal, todo icnofóssil dará indicações paleoecológicas, tanto de caráter paleoautoecológicos e de paleosinecológicos.

### 1.3 METODOLOGIA APLICADA NO ESTUDO DOS ICNOFÓSSEIS DA FORMAÇÃO GUARÁ

Em cada um dos afloramentos com icnofósseis encontrados na Formação Guará foi realizado um perfil estratigráfico, inserindo as pegadas de vertebrados, as perfurações de insetos e as crotovinas como parâmetros auxiliares para a elaboração de um modelo deposicional para esta unidade estratigráfica. Para construir o perfil estratigráfico, foram empilhadas as fácies presentes nos afloramentos, sendo que cada uma destas foi definida seguindo Reading (1986). As pequenas espessuras dos perfis, de três a quatro metros e meio, refletem justamente a ocorrência de afloramentos esparsos e não contínuos.

Para a catalogação das pegadas, foi utilizada a proposta de Leonardi *et al.* (1987): cada uma foi representada por um código de quatro letras, sendo que as duas primeiras referem-se ao município e as duas outras ao nome da localidade. Os códigos e a numeração seguem a ordem em que as pegadas foram sendo descobertas, sem conotação de sucessão estratigráfica. Assim temos:

SLCP: Santana do Livramento - Cerro Palomas

RSSJ: Rosário do Sul - Sanga do Jacaré

RSCT: Rosário do Sul - Cerro Torneado

RSGV: Rosário do Sul - Granja Santa Vitória

RSTP: Rosário do Sul - Arroio Touro Passo

Foram obtidas fotografias digitais de todo o material icnológico referente aos vertebrados. As condições de luminosidade muito variáveis e a má preservação das pegadas (especialmente a ausência de relevo) dificultaram a obtenção de boas imagens, tendo sido necessário, em alguns casos, realçar o contorno dos detalhes morfológicos com giz, para produção de contraste.

Foram efetuadas escavações, para melhor expor algumas pegadas, que apareciam somente em corte vertical ou somente em planta, de modo que pudessem ser visualizadas em diferentes cortes.

Os dados dos parâmetros das pegadas, como o diâmetro exterior total (para os saurópodes) e o comprimento, largura e divergência entre os dedos (para os terópodes e ornitópodes, Figura 24), bem como os dados das pistas, como a bitola, o

ângulo do passo, o passo duplo e o passo oblíquo (Fig. 25), basearam-se também na proposta de Leonardi *et al.* (1987).

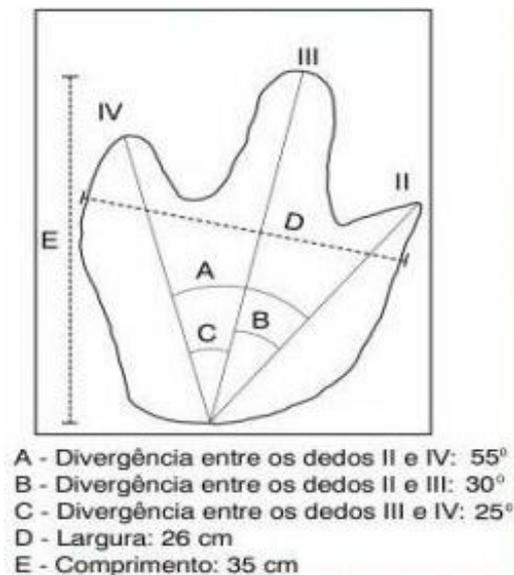


Figura 24: Parâmetros para pegadas baseado na proposta de Leonardi *et al.* (1987).

Um mapeamento na superfície de alguns afloramentos foi feito para registrar a distribuição e orientação das pegadas. Para auxiliar na construção destes mapas, a superfície foi dividida em quadrantes de  $1\text{m}^2$ . Para uma melhor visualização, as pegadas foram marcadas com giz. O sedimento que cobria as pegadas em alguns afloramentos foi retirado com o auxílio de martelos geológicos, vassouras e pincéis.

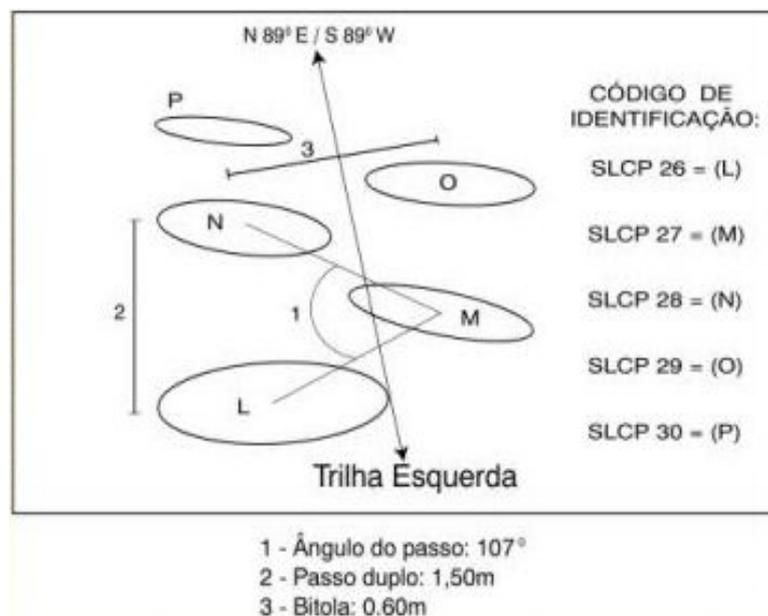


Figura 25: Parâmetros para trilhas baseado na proposta de Leonardi *et al.* (1987).

Para a digitalização dos desenhos, perfis colunares e mapas, foi utilizado o programa Adobe Illustrator 10.0.

Duas pegadas foram coletadas em campo, no afloramento RSCT, e registradas no Laboratório de Paleovertebrados da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PV 0003 J/K e PV 0004 J/K).

#### 1.4 ANÁLISE INTEGRADORA - INFERÊNCIAS TAFONÔMICAS E PALEOECOLÓGICAS OBTIDAS A PARTIR DOS ICNOFÓSSEIS DE VERTEBRADOS DA FORMAÇÃO GUARÁ

Devido ao fato de que os icnofósseis representam até o momento, praticamente a totalidade do registro fóssil conhecido para a Formação Guará, fez-se necessário um estudo detalhado sobre a preservação e paleoecologia dos mesmos, na busca de evidências de cunho tafonômico e paleoambiental.

Nesse contexto cabe ressaltar, primeiramente, que a preservação dos icnofósseis de vertebrados da Formação Guará ocorreu apenas nas fácies de ambiente eólico, representadas por lençóis de areia e dunas. No primeiro caso, as pegadas foram preservadas em arenitos com estratificações onduladas e horizontais, de granulação fina, e nas dunas, cortando os *foresets*.

Nas fácies de dunas foram registradas, até o momento, apenas pegadas de terópodes e crotovinas. Enquanto isso, nos lençóis de areia eólicos foram registrados todos os tipos de pegadas encontrados para a Formação (saurópodes, ornitópodes e terópodes). Quando as pegadas ocorrem nesta fácies elas aparecem em diferentes níveis dentro do mesmo pacote. As pegadas em superfície são praticamente planas, sem um relevo bem definido. Geralmente, a única evidência que nos permite reconhecê-las são as estruturas deformacionais ao redor das próprias pegadas, o que sugere que podemos estar vendo *undertracks* e não as pegadas propriamente ditas.

Em alguns casos, em corte, é possível ver as pegadas e as suas *undertracks*; bem como a deformação da estratificação dentro das pegadas, que é assimétrica. Em alguns casos, uma porção mais profunda está presente, isto ocorre devido à pressão exercida pela porção anterior do pé durante a caminhada. Esta orientação espacial indica a direção em que o animal estava se movendo. A preservação destas estruturas indica que algumas pegadas possuem uma boa preservação. Para que isto tenha ocorrido, pelo menos uma pequena quantidade de água devia estar presente no substrato (< 1%), antes ou depois da feitura da pegada, para permitir um aumento significativo da coesão do sedimento (Loope, 1986).

Já nos *foresets* das paleodunas as pegadas feitas por um terópode de tamanho médio revelaram, em corte, estruturas de escorregamento formadas durante a subida do animal pelo foreset da duna, que podem ser vistas juntamente com a deformação da estratificação, ocorrida enquanto o pé do animal penetrava na areia. Isto

mostra que o substrato estava relativamente firme, uma vez que não houve a destruição da pegada. Observando as mesmas pegadas em planta, foi possível observar, a partir da orientação das estruturas de escorregamento, que o animal estava subindo a duna obliquamente. Todos estes detalhes foram preservados porque a areia devia estar úmida antes do animal tê-la pisado, o que deve ter ocorrido logo após uma chuva ou no início da manhã, enquanto a areia ainda estivesse umedecida pelo orvalho noturno. De outro modo, as pegadas não teriam sido preservadas, pois seriam obliteradas pela avalanche provocada pelo peso do animal sobre a areia pouco coesa (Fornós *et al.*, 2002).

A boa preservação destas pegadas indica que elas escaparam da erosão e de um posterior pisoteio, por um recobrimento rápido (Radley *et al.*, 1998). Este rápido soterramento deve ter sido causado por um processo de baixa energia, que em dunas é caracterizado por *grain fall*.

Não foram encontradas pegadas pequenas que poderiam elucidar a questão da autoria das tocas (se foram escavadas por mamíferos ou outros animais), mas a má qualidade da preservação das pegadas maiores, a princípio, torna pouco provável este tipo de achado.

Além destas conclusões tafonômicas, algumas inferências paleoecológicas e cronoestratigráficas puderam também ser feitas utilizando os dados icnológicos e tafonômicos, correlacionando, assim, o registro fóssil com os dados sedimentológicos.

As tocas foram encontradas no mesmo afloramento e na mesma fácies (paleoduna) em que foram encontradas pegadas de terópodes. É possível que o terópode estivesse na duna para caçar os animais que viviam nas tocas ou, ainda, para subir até o topo da duna para ter uma melhor visualização de outros animais que estariam cruzando os lençóis de areia eólicos.

É conhecido que para ambientes áridos ou semi-áridos, camadas pisoteadas ocorrem próximas a lagos ou outras fontes de água (Sung Paik *et al.*, 2001) e que a taxa de pisoteio é dependente do número de grandes vertebrados na bacia sedimentar e dos seus comportamentos (Laporte & Behrensmeyer, 1980). Desse modo, as camadas pisoteadas, que ocorrem em alguns lençóis de areia eólicos, pode indicar que os grandes dinossauros estavam passando pelo sul do Brasil, talvez procurando por água, considerando que não há evidências que o ambiente da Formação Guará podia suportar uma grande população de dinossauros, corroborada pelos depósitos eólicos. Entretanto, as tocas mostram que pequenas populações de animais poderiam viver nos

campos de dunas ativas, e não somente sazonalmente, como se acredita que tenha ocorrido com os grandes dinossauros.

Em termos de composição faunística, pode-se dizer que, durante o final do Jurássico e o início do Cretáceo, na região oeste do Rio Grande do Sul, existiu uma boa diversidade de dinossauros, incluindo saurópodes, terópodes e ornitópodes, cujas trilhas ficaram registradas nas fácies eólicas da Formação Guará, além de possíveis mamíferos de pequeno porte, que seriam os responsáveis pela escavação das crotovinas encontradas associadas..

Estes icnofósseis, porém, não são diagnósticos para uma datação mais precisa. Uma associação de dinossauros terópodes, ornitópodes e saurópodes (ou grandes prosauropodes) poderia ocorrer desde o final do Triássico até o Cretáceo. O conteúdo fossilífero, até o momento, mostra coerência com os dados litoestratigráficos, que apontam uma correlação entre a Formação Guará e a Formação Tacuarembó, do Uruguai, tida como de idade Jurássico Superior. Entretanto, nenhum táxon comum foi encontrado, até o momento, para estas duas unidades.

A descoberta de icnofósseis em todas as unidades mesozóicas do Rio Grande do Sul (Fig. 26), nas últimas décadas, reflete a intensificação dos trabalhos de prospecção e coleta destes tipos de fósseis para o Estado, nas últimas décadas, e corrobora a existência de abundantes e diversificadas faunas em todos os períodos desta Era, na região. A obtenção de resultados tão expressivos, num intervalo de tempo relativamente curto, sugere que existe muito ainda por ser descoberto nos próximos anos, se for mantida uma busca constante e sistemática.

| IDADE                      | FORMAÇÃO                 | ICNOFÓSSEIS DE VERTEBRADOS  |
|----------------------------|--------------------------|---|
| Cretáceo Inferior          | Formação Botucatu        | Pegadas indeterminadas  |
| Jurássico/Cretáceo         | Formação Guará           | Tocas de mamíferos (?) e pegadas de saurópodes, terópodes e ornitópodes |
| Triássico Superior         | Formação Caturrita       | Pegadas de prosaurópodes  |
| Triássico Médio e Superior | Formação Santa Maria     | Coprólitos atribuídos a dicinodontes, cinodontes e arcossauros          |
| Triássico Inferior         | Formação Sanga do Cabral | Pegadas de Archosauria e Synapsida                                      |

Figura 26: Tabela mostrando as idades das Formações que possuem icnofósseis de vertebrados e que tipo de icnofósseis.

Este estudo deve encorajar o desenvolvimento de outras pesquisas, tanto paleontológicas quanto geológicas, na Formação Guará.

O estudo de icnofósseis é uma importante ferramenta para a interpretação paleoecológica. O potencial das pegadas e trilhas para uma reconstrução paleobiológica esclarece questões taxonômicas, locomotoras, comportamento social e zonação bioestratigráfica.

## 2. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F. F. M. de, 1969. Structures and dynamics of the Brazilian coastal area. In: **Pan-American Symposium on the Upper mantle**, Mexico, II: 30-38.
- ANDREIS, F. F. M.; BOSSI, G. E.; MONTARDO, D. K., 1980. O grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 31. **Anais**, v.2, p. 659-673.
- BARBERENA, M. C., 1977. Bioestratigrafia preliminar da Formação Santa Maria. **Pesquisas**, Porto Alegre, 7:111-129.
- BARBERENA, M. C.; ARAÚJO, D.C.; LAVINA, E.L.; AZEVEDO, S.A., 1985. O estado atual do conhecimento dos tetrápodes Permianos e Triássicos do Brasil Meridional. **Coletânea de trabalhos Paleontológicos**, MME-DNPM, série Geologia, Seção de Paleontologia e Estratigrafia, 27, 2:21-28.
- BARBERENA, M. C.; ARAÚJO, D.C.; LAVINA, E.L.; FACCINI, U.F., 1991. The evidence for close paleofaunistic affinity between South America and Africa. In: INTERNATIONAL GONDWANA SYMPOSIUM, 7, São Paulo, 1988, **Proceedings**, 455-467.
- BEHRENSMEYER, A. K.; KIDWELL, S. M., 1985. Taphonomy's contributions to paleobiology. **Paleobiology**, v. 11,105-119.
- BORTOLUZZI, C. A., 1974. Contribuição a geologia da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, v. 4 (1), p. 7-86.
- BOSSI, J.; FERRANDO, L.; MONTAÑA, J.; CAMPAL, N.; MORALES, H.; GANCIO, F.; SCHIPILOV, A.; PIÑEYRO, D.; SPRECHMANN, P. 1998. **Carta Geológica del Uruguay**. GEOEDITORES S.R.L. CD-ROM.
- BRONNER, G.N. (1992). Burrow systems characteristics of seven small mammal species (Mammalia: Insectivora; Rodentia; Carnivora). **Koedoe**, **35**(1): 125-128.
- CARVALHO, I. S. 2004. Dinosaur Footprints from Northeastern Brazil: Taphonomy and Environmental Setting. **Ichnos** 11, 311-321.
- CARVALHO, I. S.; FERNANDES A. C. S. 2000. Icnofósseis. In: CARVALHO I. S. (Ed.). **Paleontologia**. Rio de Janeiro, Editora Interciência, p. 95-118.
- COHEN, A.; LOCKLEY, M.; HALFPENNY, J.; MICHEL, A. E., 1991. Modern vertebrate track taphonomy at Lake Manyara, Tanzania. **PALAIOS**, v. 6, no. 4, p. 371-389.
- COSTA DA SILVA, R.; CARVALHO, I. S.; SCHWANKE, C., 2006 (a). Vertebrate dinoturbation from the Caturrita Formation (Late Triassic, Paraná Basin), Rio Grande do Sul, Brazil. **Gondwana Research**, In Press.

COSTA DA SILVA, R.; SCHWANKE, C.; CARVALHO, I. S., 2006 (b). Análise de pegadas fósseis da Formação Sanga do Cabral (Eotriássico, Bacia do Paraná), Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. In: GALLO, BRITO, SILVA & FIGUEIREDO (eds.). **Paleontologia de Vertebrados: Grandes Temas e Contribuições Científicas**. P. 275-284.

CURRIE, P. J.; PADIAN, K., 1997. **Encyclopedia of Dinosaurs**. Academic Press, San Diego, 869p.

DENTZIEN-DIAS, P. C.; BERTONI-MACHADO, C., 2005. - New discovers of dinosaurs footprints from Late Jurassic(?) Guará Formation, Southern Brazil. In: JORNADAS ARGENTINAS DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS, XXI, Plaza Huinul. **Resúmenes**, p. 15.

DENTZIEN-DIAS, P. C.; SCHULTZ, C. L.; SCHERER, C. M. S.; LAVINA E. L., 2007. The trace fossil record from Guará Formation (Upper Jurassic?), Southern Brazil. **Arquivos do Museu Nacional** (aceito para publicação).

DIAS, P. C. D.; SCHULTZ, C. L.; SCHERER, C. M. S., 2002. Pegadas de dinossauros da Formação Guará (Jurássico Superior?), Bacia do Paraná, RS. **Paleontologia em Destaque**. N° 40, p.25.

DIAS, P. C. D., 2003. **Conteúdo fossilífero e relações estratigráficas da Formação Guará (Jurássico Superior ?), Rio Grande do Sul**. Trabalho de Conclusão em Geologia, Instituto de Geociências/UFRGS, p. 46.

DODD, R. J.; STANTON Jr., R. J., 1981. **Paleoecology, concepts and applications**. New York: John Wiley, 559 p.

FACCINI, U. F., 1989. **O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul. Uma análise sob o ponto de vista das seqüências deposicionais**. Curso de Pós-Graduação em Geociências. 121p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, UFRGS.

FARIA DOS SANTOS, V.; LOCKLEY, M. G.; MORTALLA, J.; GALOPIM de CARVALHO, A. M., 1992. The longest dinosaur trackway in the world? Interpretations of Cretaceous footprints from Carenque, Near Lisbon, Portugal. **Gaia**, 5: 18-27.

FORNÓS, J. J.; BROMLEY, R. G.; CLEMMENSEN, L. B.; RODRIGUEZ-PEREA, A., 2002. Tracks and trackways of *Myotragus balearicus* Bate (Artiodactyla, Caprinae) in Pleistocene aeolianites from Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 180, 277–313.

GAMERMANN, N., 1973. Formação Rosário do Sul. **Pesquisas**, v.2, p.5-36.

GATESY, S. M., 2001. Skin impressions of Triassic theropods as records of foot movement. **Bull. Mus. Comp. Zool.** 156:137-149

- GOLDRING, R. & SEILACHER, A. 1971. Limulid undertracks and their sedimentological implications. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* **137**, 422–42.
- GORDON Jr., M., 1947. Classification of the Gondwanic rocks of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul. DNPM Div. Geol. Min., **Notas Preliminares e Estudos**, v.38, p.1-19.
- HUNT A. P.; LUCAS S. G., 2007. Tetrapod Ichnofacies: A New Paradigm. **Ichnos**, 14:59–68.
- JENNINGS, D. S.; HASIOTIS, S. T., 2006. Taphonomic analysis of a dinosaur feeding site using geographic information systems (gis), Morrison Formation, Southern Bighorn Basin, Wyoming, USA. **Palaios**; v. 21; no. 5; p. 480-492.
- KEIGHLEY, D. G.; PICKERILL, R. K., 1997. Systematic ichnology of the Mabou and Cumberland groups (Carboniferous) of Western Cape Breton Island, eastern Canada, 1: burrows, pits, trails, and coprolites. **Atlantic Geology**, 33, 181-215.
- LAPORTE, L.F.; BEHRENSMEYER, A.K., 1980. Tracks and substrate reworking by terrestrial vertebrates in Quaternary sediments of Kenya. **Journal Sedimentary Petrology**, 50, 1337-1346.
- LAUNDRE, J.W. 1989. Horizontal and vertical diameter of burrows of five small mammal species in southeastern Idaho. **Great Basin Naturalist**, **49**: 646-649.
- LAVINA, E. L. 1991. **Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano ao Eotriássico (Intervalo Kazaniano-Scythiano) da Bacia do Paraná**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, p.333.
- LAVINA, E. L.; AZEVEDO, S. A. K.; BARBERENA, M. G.; FERRANDO, L., 1985. Contribuição à estratigrafia e paleoambiente da Formação Tacuarembó no nordeste do Uruguai. Porto Alegre. **Pesquisas**, n. 17, p. 5-23.
- LAVINA, E. L.; SCHERER, C. M. S., 1997. Arquitetura estratigráfica da sedimentação Neopermiana e Mesozóica na região oeste do estado do Rio Grande do Sul. Implicações na construção do arcabouço cronoestratigráfico da Bacia do Paraná. In: 3<sup>o</sup> SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ. **Boletim de Resumos**. p. 33-34.
- LEONARDI, G. 1989. Inventory and statistics of the South American dinosaurian ichnofauna and its paleobiological interpretation. In: Gillette, D.D. & Lockley, M.G. (eds). **Dinosaur tracks and traces**. Cambridge, Cambridge University, p. 165-178.
- LEONARDI, G. 1987. **Glossary and Manual of Tetrapod Footprint Palaeoichnology**. Brasília, DNP, 117 p.
- LOCKLEY M.; MITCHELL, L.; ODIER, G. P., 2007. Small theropod track assemblages from Middle Jurassic eolianites of Eastern Utah: Paleoecological Insights from Dune Ichnofacies in a Transgressive Sequence. **Ichnos**, 14:131–142.

LOCKLEY, M.G., 1986. The Paleobiological and Paleoenvironmental Importance of Dinosaur Footprints. **Palaios**, 1, pp.37-47.

LOCKLEY, M. G., 1997. The paleoecological and paleoenvironment utility of dinosaur tracks. In: FARLOW & BRETT-SURMAN (Ed.). **The Complete Dinosaur**. Bloomington, Indiana University Press. 554-578.

LOCKLEY, M. G., 1991. **Tracking dinosaurs**. Cambridge University Press, p. 238.

LOCKLEY, M. G.; CONRAD, K., 1989. The paleoenvironmental context, preservation and paleoecological significance of dinosaur tracksites in Western USA. In: GILLETTE AND LOCKLEY EDS. **Dinosaur Track and Traces**. 121-134.

LOCKLEY, M. G.; HUNT, A. P.; MEYER, C., 1994. Vertebrate tracks and the ichnofacies concept: implications for paleoecology and palichnostratigraphy. In: DONOVAN, S. ED. **The paleobiology of trace fossils**, pp. 241–268.

LOOPE, D.B., 1986. Recognizing and utilizing vertebrate tracks in cross section: Cenozoic hoofprints from Nebraska. **Palaios**, 1, 141–151.

LOOPE, D. B., 2006. Dry-Season Tracks in Dinosaur-Triggered Grainflows. **Palaios**; v. 21; no. 2; p. 132-142.

LOOPE, D.B., 2006, Burrows dug by large vertebrates into rain-moistened, Middle Jurassic dune sand: **Journal of Geology**, v. 114, p. 753-762

McKEE, E.D., 1947, Experiments on the development of tracks in fine cross-bedded sand: **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 17, p. 23– 28.

MACNAUGHTON, R. B.; PICKERILL, R. K. 2003. Taphonomy and the taxonomy of trace fossils: a commentary. **Lethaia**, V. 36- 1, pp. 66-69.

MARTÍNEZ, S.; FIGUEIRAS A.; DA SILVA J. S. 1993. A new *Unionoid* (Mollusca, Bivalvia) from the Tacuarembó Formation (Upper Triassic - Upper Jurassic), Uruguay. **Journal of Paleontology**. p. 962-965.

MILÀN, J. & BROMLEY, R.G. 2006. True tracks, undertracks and eroded tracks, experimental work with tetrapod tracks in laboratory and field. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. 231, 253-264.

MILÀN, J.; CLEMMENSEN, L.B.; BONDE, N. 2004. Vertical sections through dinosaur tracks (Late Triassic lake deposits, East Greenland) – undertracks and other subsurface deformation structures revealed. **Lethaia**, 37, 285-296.

MILÀN, J.; LOOPE, D.B., 2007. Preservation and erosion of theropod tracks in eolian deposits: examples from the Middle Jurassic Entrada Sandstone, Utah, U.S.A.: **Journal of Geology**, v. 115, p. 375-386

MILANI, E. J., 1997. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental**. 2 v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MILANI, E. J., 2004. Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: MANTESSO-NETO, V., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C. D. R., E BRITO-NEVES, B. B. ORGANIZADORES. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Editora Beca, São Paulo, 265-279.

MILLER, M. F.; HASIOTIS, S. T.; BABCOCK, L. E.; ISBELL, J. L.; COLLINSON, J. W., 2001. Tetrapod and Large Burrows of Uncertain Origin in Triassic High Paleolatitude Floodplain Deposits, Antarctica. **PALAIOS**, V. 16, p. 218–232.

MONES, A. 1980. Nuevos elementos de la paleoherpetofauna del Uruguay (Crocodilia & Dinosauria). IN: I CONGRESO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGÍA. **Resúmenes**. p. 265-277.

MONTARDO, D. K., 1982. **Estudo geológico dos sedimentitos do Gondwana Superior da região de Candelária e Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul**. Curso de Pós-Graduação em Geociências. 121p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, UFRGS.

OLIVEIRA, E. P., 1927. **Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro, Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, 172p.

PADULA, E.; MINGRAMM, A., 1969. Sub-surface Mesozoic red-beds of the Chaco-Mesopotamian region, Argentina and their relatives in Uruguay and Brazil. 1053-1071.

PEREA, D.; UBILLA, M.; ROJAS, A.; GOSO, C., 2001. The West Gondwanan occurrence of the hybodontid shark *Priohybodus* and the Late Jurassic – Early Cretaceous age of Tacuarembó Formation Uruguay. **Paleontology** 44: 1227-1235.

PEREA, D.; MARTÍNEZ, S., 2003. La Formación Tacuarembó. In: VEROSLAVSKY, G.; UBILLA, M. & MARTÍNEZ, S. (Eds.). **Cuencas Sedimentárias de Uruguay**. Montevideo, p. 101-113.

PEREA, D.; SOTO, M.; VEROSLAVSKY, G.; MARTÍNEZ, S. & UBILLA, M., 2007. A Late Jurassic-Early Cretaceous fauna in Gondwanaland: chronostratigraphy and correlations of Tacuarembó Formation, Uruguay. In: XXIII JAPV. **Libro de Resúmenes**, 25-26

RADLEY, J. D.; BARKER, M. J.; HARDING, I. C., 1998. Palaeoenvironment and taphonomy of dinosaur tracks in the Vectis Formation (Lower Cretaceous) of the Wessex Sub-basin, southern England. **Cretaceous Research** 19, 471–87.

RUBERT, R. R.; SCHULTZ, C. L., 2004. Um novo horizonte de correlação para o Triássico Superior do Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, 31: 72-88.

SANTA-ANA, H.; VEROSLAVSKY, G. 2003. La tectosecuencia vulcanosedimentaria de la Cuenca Norte de Uruguay. In: VEROSLAVSKY, G.; UBILLA, M. & MARTÍNEZ, S. (Eds.). **Cuencas Sedimentárias de Uruguay**. Montevideo, p. 51-74.

SARJEANT, W. A. S., (1975). Fossil tracks and impressions of vertebrates. In: FREY, R. W (Ed.). **The study of trace fossils**. Springer-Verlag. 283-324.

SCHERER, C. M. S., 1998. **Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Neocomiano) no Estado do Rio Grande do Sul**. Curso de Pós-Graduação em Geociências. 208p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, UFRGS.

SCHERER, C. M. S., 2000. Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin. **Sedimentary Geology**, 137:63-84.

SCHERER, C. M. S., 2002. Preservation of eolian genetic units by lava flows in the Lower Cretaceous of the Paraná Basin, southernmost Brazil. **Sedimentology**, 49:97-116.

SCHERER, C. M. S.; SOMMER, C. A.; CARAVACA, G.; WAICHEL, B., 1999. Dunas eólicas preservadas por derrames vulcânicos: uma análise das feições de interação sedimento-lava (Grupo São Bento, Rio Grande do Sul). In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMOS E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1, Gramado. **Resumos**. p. 11.

SCHERER, C. M. S.; FACCINI, U. F.; LAVINA E. L., 2000. Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M. & DE ROS, L. F. (Eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. UFRGS-CIGO. p. 335-354.

SCHERER, C.M.S.; LAVINA, E.L.C., 2005. Sedimentary cycles and facies architecture of fluvial-aeolian strata of the Upper Jurassic Guará Formation, southern Brazil. **Sedimentology**, 52, p. 1323-1341

SCHERER, C.M.S.; LAVINA, E.L.C., 2006. Stratigraphic evolution of a fluvial–eolian succession: The example of the Upper Jurassic—Lower Cretaceous Guará and Botucatu Formations, Paraná Basin, Southernmost Brazil. **Gondwana Research**, 9, 475–484.

SCHULTZ, C. L.; SCHERER, C. M. S.; BARBERENA, M. C., 2000. Biostratigraphy of Southern Brazilian Middle-Upper Triassic. **Revista Brasileira de Geociências**, 30(3):491-494.

SCHULTZ, C. L.; SCHERER, C. M. S. & LAVINA, E. L. C. 2002. Dinosaur's footprints from the Guará Formation ( Upper Jurassic? ), Paraná Basin, Southern Brazil. In: VIII CONGRESO ARGENTINO DE PALEONTOLOGÍA Y BIOESTRATIGRAFÍA. **Resúmenes**, p. 64.

SILVA BUSSO, A.; FERNANDEZ GARRASINO, C.A., 2004. Presencia de lãs Formaciones Pirambóia y Botucatu (Triásico – Jurásico) en el subsuelo oriental de la provincia de Entre Rios. **Revista de la Asociación Geológica Argentina**, 59 (1): 141-151.

SOUTO, P. R. F., 2001. Tetrapod coprolites from the Middle Triassic of Southern Brazil. **Gaia**, 16, p. 51-57.

SUNG PAIK, I.; KIM, H. J.; LEE, Y. I., 2001. Dinosaur track-bearing deposits in the Cretaceous Jindong Formation, Korea: occurrence, palaeoenvironments and Preservation. **Cretaceous Research**, 22, 79–92.

TANNER, L. H.; SMITH, D. L.; LUCAS, S. G., 2006. Trace Fossils in Eolian Facies of the Upper Triassic-Lower Jurassic Dinosaur Canyon Member, Moenave Formation, Northern Arizona. **Ichnos**, V.13 - 1, pp. 21-29.

YANBIN, S.; GALLEGO, O.; MARTÍNEZ, S. 2002. A review of fossil conchostracans from the Tacuarembó Formation, Uruguay, with notes on its geological age. In: IPC 2002. **Abstracts**. Geological Society of Australia, p. 272-273.

WINGS, O., 2004. **Identification, distribution, and function of gastroliths in dinosaurs and extant birds with emphasis on ostriches (*Struthio camelus*)**. Tese de doutoramento. Universidade de Bonn, p. 189.

WHITE, I. C., 1908. Relatório final da Comissão de Estudos de Minas de Carvão de Pedra do Brasil. **Relatório sobre as coal measures e rochas associadas do sul do Brasil. Parte I: Geologia**. 300p.

WOODWARD, A.S., 1907. On some fossil reptilian bones from State of Rio Grande do Sul: considerações sobre fósseis do estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Museu Paulista**, v.7, p. 46-57.

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.

VARRICCHIO, D. J.; MARTIN, A. J.; KATSURA, Y., 2007. First trace and body fossil evidence of a burrowing, denning dinosaur. **Proc. R. Soc. B** (2007) 274, 1361–1368.

VOORHIES, M. R. 1975. Vertebrate burrows. In: R. W. Frey (Ed.). **The study of trace fossils**. New York, NY: Springer, pp. 325–350.

3 ARTIGO SUBMETIDO PARA PUBLICAÇÃO -  
**Taphonomy and paleoecology inferences of vertebrate ichnofossils from Guar**  
**Formation (Upper Jurassic?), Southern Brazil**  
Journal of South American Earth Sciences

## **Taphonomy and paleoecology inferences of vertebrate ichnofossils from Guará Formation (Upper Jurassic?), Southern Brazil**

PAULA C. DENTZIEN-DIAS<sup>a,\*,+</sup>, CESAR L. SCHULTZ<sup>a,\*\*</sup> & CRISTINA BERTONI-MACHADO<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> UFRGS, PPGGeo . Av. Bento Gonçalves, 9500. CEP 91509/900. Porto Alegre, RS. Brazil.

\* CNPq graduate student, \*\* CNPq research

<sup>+</sup>Corresponding author. Fax: +55 51 3316 6340.

E-mail address: [pauladentzien@gmail.com](mailto:pauladentzien@gmail.com)

### **ABSTRACT**

In the southern Brazil, the eolian facies of the Guará Formation (Late Jurassic?), revealed footprints and trackways of vertebrates (dinosaurs), as well as burrows made by little vertebrates (mammals?). All the footprints and trackways are preserved in dunes and sand sheets. The footprints made in the sand sheets are not well preserved due to intense trampling and can be distinguished only by the deformation of the sandstone laminations. In some cases it is possible to see this deformation on surface and in section. It can be identified tracks of theropods, ornithopods and middle-sized sauropods. Two footprints preserved in the foreset of a paleodune permitted to recognize slide structures and even identify the trackmaker, a theropod. The burrows were found at this same paleodune, cutting horizontally the foresets. They are represented by ribbons of massive sandstone – interpreted as the partial filling of the base of the burrows - covered by little blocks of stratified sandstone – suggesting the collapse of the roof inward the burrow. There is no body fossils record to the Guará Formation, consequently the preservation of these tracks provides an unique evidence of widespread dinosaurs activity in Southern Brazil during the end of Jurassic.

Keywords: Taphonomy, vertebrate ichnofossils, Guará Formation, Eolian deposits, paleoecology

### **INTRODUCTION**

Over the last decade, knowledge about the southwest region of Rio Grande do Sul State, southern Brazil, (Fig. 01) have increased considerably, specially about the Guará Formation of the Paraná Basin. Scherer and Lavina (2005) portrayed

four distinct facies associations: simple to locally composite crescentic eolian dune sets, eolian sand sheets, distal floodflows, and fluvial channels. Dentzien-Dias et al. (*in press*) described the fossil record found in the Guar Formation, which includes vertebrate and invertebrate ichnofossils and conchostracans. The vertebrate ichnofossils are composed by sauropod, ornithopod and theropod tracks and burrows probably made by small mammals (Dentzien-Dias et al., *in press*).

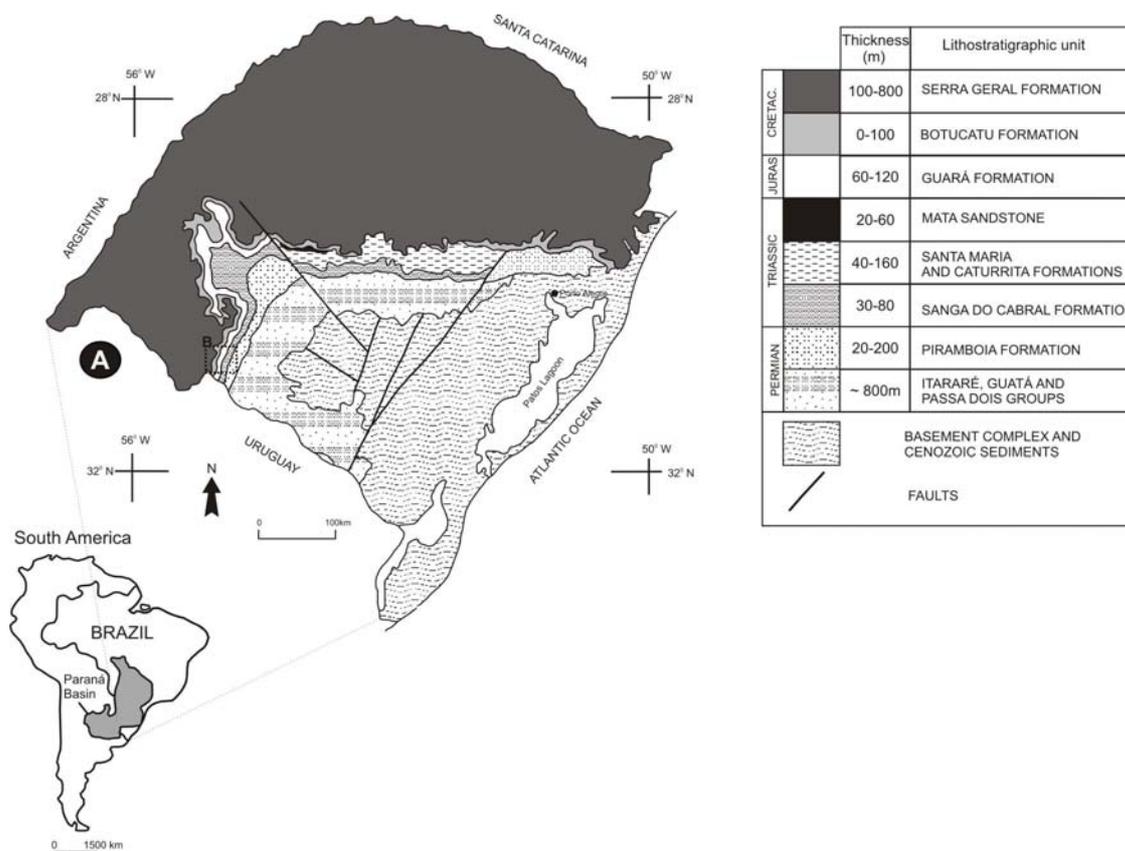


Figure 01: Geological map of the Permian and Mesozoic lithostratigraphic units of the Paraná Basin in the Rio Grande do Sul State, Brazil (After Scherer and Lavina, 2005).

The knowledge on track taphonomy has increased in recent years (Cohen et al., 1991; Radley et al., 1998; Fornós et al., 2002; Carvalho, 2004; Miln et al., 2004; Loope, 2006; Miln and Bromley, 2006; Lockley et al., 2007), but still remains a part of paleontology that need to be recognized, though to its importance if compared to the paleoecology of vertebrate ichnofossils (Lockley, 1997; Gillette and Lockley, 1986; Lockley et al., 1994; Lockley, 1991).

The main aim of this work is to study, in a taphonomic way, the preservation of these footprints, and contribute for a paleoecological analysis of the Jurassic fauna that lived in South of Brazil.

## GEOLOGICAL SETTING

The Guará Formation has a wide geographical distribution (see Figure 01), cropping out on the southwestern portion of the Rio Grande do Sul State. Lithologically, it is composed of fine to coarse-grained sandstone, and rare mudstones, deposited by fluvial and eolian depositional systems (Scherer et al., 2000). Although highly variable, it has a medium thickness of 200 m and rests unconformably over the fluvial deposits of the Lower Triassic Sanga do Cabral Formation. Above, the Guará formation is unconformably overlaid by the eolian deposits of the Lower Cretaceous Botucatu Formation (Scherer et al., 2000).

The Guará Formation displays a well-defined facies shift along its outcrop belt. On its northern portion it is characterized by coarse-grained to conglomeratic sandstones with trough and planar cross-bedding, as well as low-angle lamination, which are interpreted to represent braided river deposits. Southwards these fluvial facies thin out and interfinger with fine - to medium grained sandstones with large-scale cross-stratification and horizontal lamination, interpreted as eolian dune and eolian sand sheets deposits, respectively (Scherer and Lavina, 2005). These eolian sediments reveals large cross-beddings with grain flow, grain fall and wind-ripples lamination, interpreted as eolian dunes deposits, and/or horizontal wind-ripples strata, composed by fine to coarse-grained sandstones interpreted as eolian sand sheets deposits.

In the eolian sand sheets deposits occurs vertical transition between wind ripples and adhesion strata (crinkled lamination), this reflects changes in the substrate wetness associated with either modifications of the rate of water table fluctuation or dry sand availability (Chakraborty & Chaudhuri, 1993). The Guará Formation accumulation was controlled by oscillations between arid and semi-arid conditions (Scherer and Lavina, 2006).

The Guará Formation extends from the Southwest of Rio Grande do Sul State to the Uruguay territory, where it corresponds, lithostratigraphically, to the basal member of the Tacuarembó Formation (Lavina et al., 1985), which reveals a rich and diversified fossil record, including a crocodile, semionotiform fishes, gastropods and

conchostracans (Mones & Figueira, 1980; Ferrando et al., 1987). Nevertheless, no common taxon was found until now for Tacuarembó and Guará formations.

## DATA GATHERING

To each fossiliferous outcrop, a stratigraphic section was made, in which the layers with ichnofossils were marked out. The sedimentary facies were described following the model of Reading (1986).

Were collected two separated footprints and a pair of footprints from the same trackway. They were registered in the Laboratory of Paleovertebrates of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS PV 0003 J/K , UFRGS PV 0004 J/K and UFRGS PV 0005 J/K).

All the ichnological material was photographed and measured, using the parameters of Leonardi et al. (1987) for footprints, as well the data regarding to the trackways.

To visualize some footprints both in surface and in section, we cut through the sandstone horizontally and/or vertically, allowing the observation of some structures. Surface mapping of one of the outcrops was undertaken to record the distribution and orientation of the footprints (Figure 02). To assist in the construction of the map, the surface was divided into quadrangles of 1m<sup>2</sup>. To better visualize the tracks they were marked with chalk.

Were measured the length, wide and thickness of the burrows. After that, one of them was cut through to observe possible internal structures.

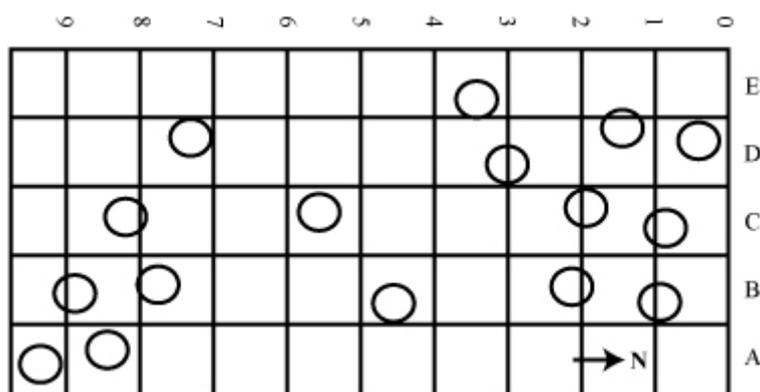


Figure 02: Distribution map of the sauropod footprints from Santana do Livramento (Cerro Paloma) outcrop.

## DESCRIPTION AND INTERPRETATION OF TRACKS AND BURROWS

Trackways and isolated footprints were found in five different outcrops, all in the eolian facies, and three different kinds of footprints were found.

The first one consists of rounded footprints, with medium diameter about 50cm, without traces of digits (Figure 03). Based on the pace angulation pattern and footprint shape (Faria dos Santos et al., 1992), they are better attributed to the pes of a sauropod. It was not found any half-moon mark associated to them, which would characterize the manus tracks. Probably this pattern is due to the poor preservation of the footprints and/or to the overlap of the pes overstepping the manus footprints, a common phenomenon in sauropod trackways (Moreno and Benton, 2005). The morphology and the size of the footprints suggest the presence of a sauropod with a body size similar to an extant elephant. These sauropod footprints could be observed in section, and the undertracks reach around 45 cm in depth.

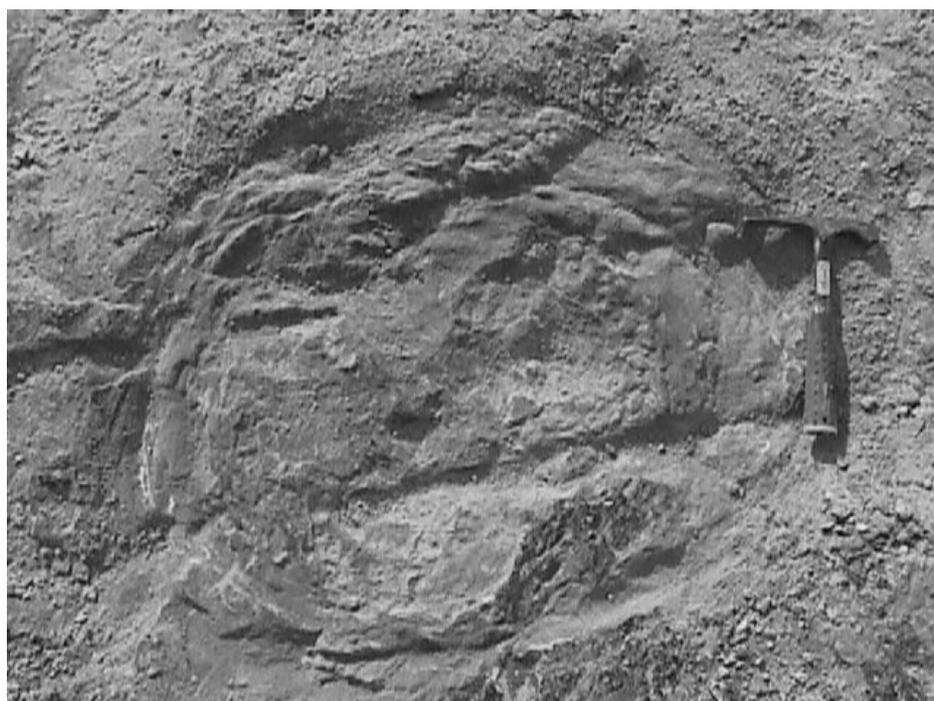


Figure 03: Sauropod footprint with diameter of 50 cm with deformational features in the stratification that suggest that we are seeing actually the undertracks.

Inside some of these footprints, several little vertical burrows can be observed. One of them was excavated to allow its observation in section. These small burrows begin as vertical tubes which become horizontally enlarged at their bases,

forming little chambers and were attributed as burrows made by insects (Dentzien-Dias et al., in press).

The second type of footprint found is tridactyl, with marks of sharp claws at their ends. They measure between 17 cm to 35 cm long and 15 cm to 26 cm wide (Figure 04). This morphology indicates that these footprints were made by a theropod.



Figure 04: Theropod footprint with 17 cm long and 15 cm wide.

Another track has 25 cm long and 23 cm wide. The heel has a “U” shape and it is not possible to visualize any kind of claw in the toes. These were attributed to a bipedal ornithopod. Other isolated footprints of the same shape occur, but they are very poorly preserved, or almost totally eroded, to permit a better classification.

Associated with theropod footprints in a paleodune, several ribbons of massive sandstone can be observed crossing the sets of the dune. In some portions, these ribbons are covered by little blocks of stratified sandstones. The ribbons of massive sandstones are here interpreted as partially filled burrows, while the stratified blocks would represent the collapse of parts of the roof inside the burrows. The burrows typically are straight to slightly curved in plan view and horizontal to gently inclined in lateral view. These structures tend to be rectilinear, but some of them describe curves and bifurcate (Figure 05). Burrow diameter range from 15 cm to 20 cm and are elliptical in cross section, with shorter axis about 8 cm and their lengths vary from 0,40m to 2,80m. The external surface has been weathered, therefore no well-defined burrow linings were observed as any scratch marks.



Figure 05: Bifurcated burrow with 1.50 m of length and 20 cm of width.

The size and shape of these burrows would be compatible with excavations done by small reptiles or mammals (Miller et al., 2001) and can be illustrated by the extant *Ctenomys* sp. (the “tuco-tuco”), that build extensive tunnels in the coastal eolian dunes at the South of Brazil (Dentzien-Dias et al., in press).

### TAPHONOMY

The footprint preservation occurred in two contexts of an eolian environment: eolian sand sheets and paleodunes. In the first case the tracks are preserved in fine-grained sandstones with both horizontal and wavy stratified deposits. In the paleodunes, footprints occur cutting the foresets.

- Tracks in the Eolian sand sheets

All types of footprints above cited (made by sauropods, ornithopods and theropods) occur in the eolian sand sheets facies. They occur in different levels inside the same package and is common to be strongly trampled by superimposition of footprints and tracks, resulting in a chaotic perturbation of the stratification (dino-turbation). The footprints were produced and covered by sand, so that no lithological discontinuities exist, which could have preserved them in relief and with more details. So, they are completely flattened on the surface, and its presence is evidenced just by deformational features in the stratification (see figure 03) that suggest that we are seeing actually the undertracks.

In section, it is possible, in some cases, to see the footprints and respective undertracks; the deformation of the stratification inside the footprints is clearly asymmetric (Figure 06). In these cases, a deeper portion is always present in each footprint, which resulted from the pressure performed by the anterior portion of the foot during the step. This spatial orientation indicates to which direction the animal was moving on.

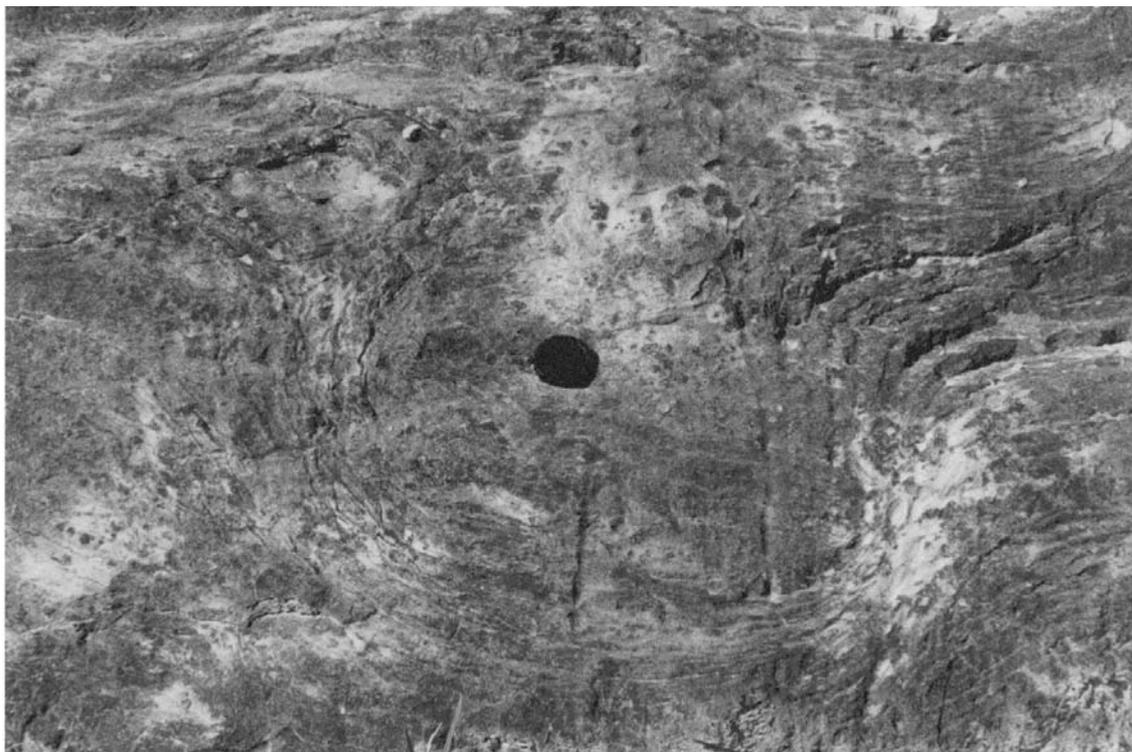


Figure 06: Sauropod footprint in section, the undertracks reach around 45 cm in depth; the deformation of the stratification inside the footprints is clearly asymmetric.

To preserve a footprint, even a tiny amount of water should be present in the substrate (< 1%) in order to promote a significant increase of sediment cohesion,

hence allowing footprint preservation with well-developed vertical features (Loope, 1986). So, the preservation in this facies occur because of a certain degree of wetness in the substrate, evidenced by the adhesion strata.

- Tracks and burrows in the Paleodunes

The only kind of tracks found in the paleodunes was made by a theropod. In section, slide structures formed during this climbing can be clearly visualized and the pin stripes were down-folded as the animal feet penetrated the sand, showing that the substrate was relatively firmer (Figure 07). On the surface, was possible to identify the trackmaker and see, again, slide structures that show that the theropod was climbing the dune obliquely. Some details of the footprint were preserved showing that is possible to identify which kind of animal made the footprint. This was possible because the sand should be moist, otherwise it would not be preserved, since they are easily destructed by erosion and do not allow preserving details of the tracks (Fornós et al., 2002).

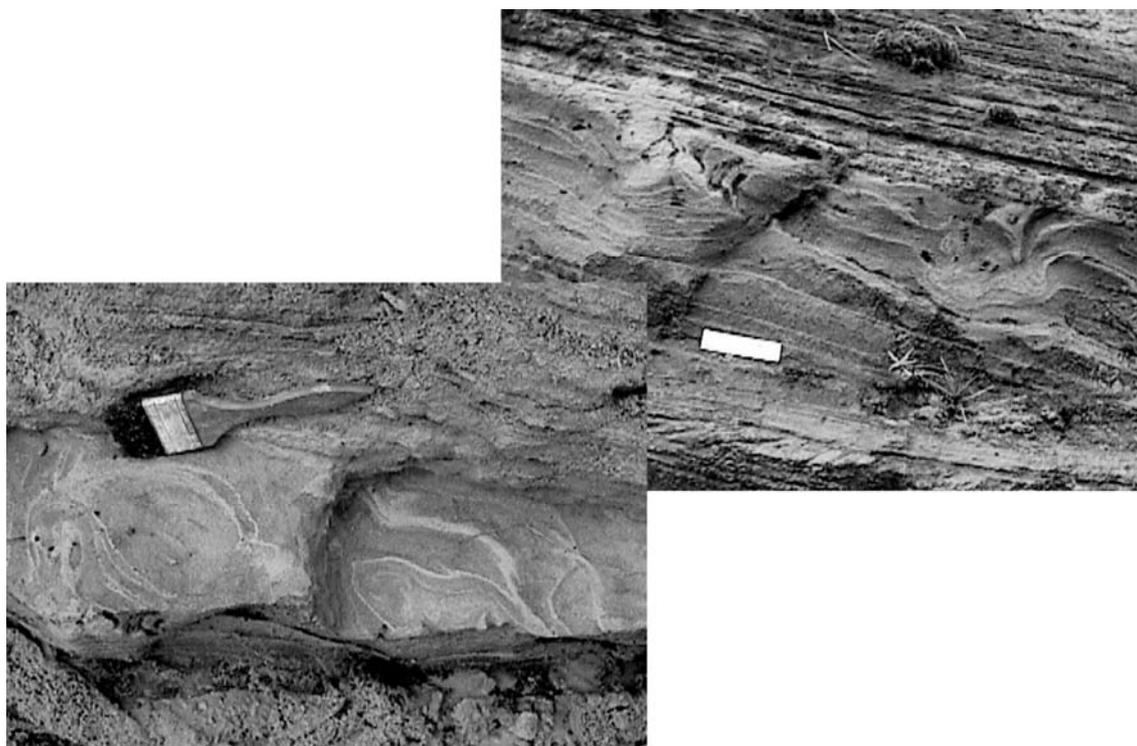


Figure 07: Theropod footprint in section and on surface. Slide structures formed during this climbing can be clearly visualized and the pin stripes were down-folded as the animal feet penetrated the sand, showing that the substrate was relatively firmer.

The good preservation of these footprints indicated that they escaped erosion or further trampling, by rapid burial (Radley et al., 1998). This rapid burial must be the result of low energy process that, in dunes, is characterized by the grain fall.

There is no lithologic difference between the infilling of the burrows and the surrounding matrix, except the absence of stratification. Burrows filled with the same sediment as that in which they were excavated, easily are overlooked (Smith, 1987), otherwise this stratification difference made the burrows have some relief, allowing us to identify them easily. Unfortunately, since this moment, was not found any small footprint that could be attributed to the constructor of the burrows. Probably these footprints did not have the same luck of those made by theropods, maybe because they were too shallow and even this low energy process destroyed them.

### **PALEOECOLOGY INFERENCES**

Some paleoecology inferences can be made using the ichnological and taphonomic data such as the speed, weight, and behavior of the organism which made them (Lockley, 1997), correlating the fossil record with the sedimentological data. Here in we speculate over the animals and the behavior that lead them to made some of the ichnofossils described above.

The burrows were found in the same outcrop that the theropod footprints occur, in a paleodune. It is possible that the theropods were in that dune to hunt the little animals (mammals?) that lived in those burrows or even to go to the top of the dunes to have a better vision of the other animals that were crossing in the eolian sand sheets.

It is known that in arid and semi-arid environments, trampled layers occurs near lakes and other source of water (Sung Paik et al., 2001) and the rate of trampling is dependent on the number of large vertebrates in the sedimentary basin and their behavior (Laporte and Behrensmeyer, 1980). There by, the strongly trampled nature, that occur in some eolian sand sheets, could indicate that the dinosaurs, specially the sauropods, were passing by the Southern Brazil, maybe searching for water, considering that there is no evidence that the environment of the Guará Formation may support a large dinosaur population, corroborated by the dry eolian deposits. Alternatively, the burrows prove that some small animals could live in the semi-arid environment of this formation.

## CONCLUSIONS

- All the footprints and trackways are preserved in the eolian facies, including dunes and sand sheets. In most of them it is difficult to recognize the morphology of the footprints, because almost no anatomic details were preserved.

- The strong trampled nature that occurs in some layers could be one of the factors that influence in the poor preservation of some footprints.

- The deepest-penetrating animal tracks have the highest preservation potential. On an active dune, the softest, most easily deformed substrate underlies the slip face. Because the slip face lies within the zone of flow separation, tracks made on grainflows are better protected from wind erosion than those made on any other dune surface. The tracks from the palaeodunes demonstrate that if made on the dry slip faces of dunes can be preserved and in considerable detail.

- The good preservation of some footprints indicated that they escaped erosion or further trampling, by rapid burial.

- The strongly trampled nature, could indicate that the large dinosaurs were passing by the Southern Brazil, searching for water, considering that there is no evidence that the environment of the Guará Formation may support a large population, corroborated by the dry eolian deposits.

- The burrows are the only evidence of vertebrate burrows from the Mesozoic of Rio Grande do Sul state and prove that some small animals could live in the semi-arid environment of the Guará Formation.

- The body fossils are unknown to the Guará Formation, consequently the chance preservation of these tracks provides an unique evidence of widespread dinosaurs activity in Southern Brazil during the end of Jurassic.

## Acknowledgements

PCD-D and CB-M wish to thank CNPq for graduate scholarship.

## References

CARVALHO, I. S. 2004. Dinosaur Footprints from Northeastern Brazil: Taphonomy and Environmental Setting. *Ichnos* 11, 311-321.

CHAKRABORTY, T. and CHAUDHURI, A.K. (1993) Fluvial–Eolian interactions in a Proterozoic alluvial plain: example from the Mancheral Quartzite, Sullavai Group, Pranhita-Godavari Valley, India. In: *The Dynamics and Environmental Context of Eolian Sedimentary Systems* (Ed. K. Pye), Geol. Soc. London Spec. Publ., 72, 127–141.

COHEN, A., LOCKLEY, M., HALFPENNY, J., and MICHEL, A. E., 1991. Modern vertebrate track taphonomy at Lake Manyara, Tanzania. *Palaios*, v. 6, no. 4, p. 371-389.

DENTZIEN-DIAS, P. C.; SCHULTZ, C. L.; SCHERER, C. M. S. and LAVINA E. L. The trace fossil record from Guar Formation (Upper Jurassic?), Southern Brazil. *Arquivos Do Museu Nacional*, in press.

FARIA dos SANTOS, V., LOCKLEY, M. G., MORTALLA, J. and GALOPIM de CARVALHO, A. M., 1992. The longest dinosaur trackway in the world? Interpretations of Cretaceous footprints from Carenque, Near Lisbon, Portugal. *Gaia*, 5: 18-27.

FORNÓS, J. J., BROMLEY, R. G., CLEMMENSEN, L. B. and RODRIGUEZ-PEREA, A. 2002. Tracks and trackways of *Myotragus balearicus* Bate (Artiodactyla, Caprinae) in Pleistocene eolianites from Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 180, 277–313.

GILLETTE, D. D. and LOCKLEY, M. G., 1986. *Dinosaur tracks and traces*. Cambridge University Press, p. 454.

LAPORTE, L.F. and BEHRENSMEYER, A.K., 1980. Tracks and substrate reworking by terrestrial vertebrates in Quaternary sediments of Kenya. *J. Sediment. Petrol.* 50, 1337-1346.

LOCKLEY, M. G., (1997). The paleoecological and paleoenvironment utility of dinosaur tracks. In: Farlow & Brett-Surman (Ed.). *The Complete Dinosaur*. Bloomington, Indiana University Press. 554-578.

LOCKLEY, M. G., 1991. *Tracking dinosaurs*. Cambridge University Press, p. 238.

LOCKLEY, M. G., HUNT, A. P. and MEYER, C. A., 1994. Vertebrate tracks and the ichnofacies concept: Implications for Palaeoecology and Palichnostratigraphy. In: *The Paleobiology of trace fossils*. S. K. Donovan Ed. The John Hopkins University Press, p. 241-268.

LOCKLEY M., MITCHELL, L. and ODIER, G. P., 2007. Small Theropod Track assemblages from Middle Jurassic Eolianites of Eastern Utah: Paleoecological Insights from Dune Ichnofacies in a Transgressive Sequence. *Ichnos*, 14:131–142.

LOOPE, D.B. ,1986. Recognizing and utilizing vertebrate tracks in cross section: Cenozoic hoofprints from Nebraska. *Palaios*, 1, 141–151.

LOOPE, D. B., 2006. Dry-Season Tracks in Dinosaur-Triggered Grainflows. *Palaios*; v. 21; no. 2; p. 132-142.

MILÀN, J. and BROMLEY, R.G. 2006. True tracks, undertracks and eroded tracks, experimental work with tetrapod tracks in laboratory and field. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 231, 253-264.

MILÀN, J., CLEMMENSEN, L.B. and BONDE, N. 2004. Vertical sections through dinosaur tracks (Late Triassic lake deposits, East Greenland) – undertracks and other subsurface deformation structures revealed. *Lethaia*, 37, 285-296.

MILLER, M. F., HASIOTIS, S. T., BABCOCK, L. E., ISBELL, J. L. and COLLINSON, J. W., 2001. Tetrapod and Large Burrows of Uncertain Origin in Triassic High Paleolatitude Floodplain Deposits, Antarctica. *PALAIOS*, V. 16, p. 218–232.

RADLEY, J. D., BARKER, M. J. and HARDING, I. C. 1998. Palaeoenvironment and taphonomy of dinosaur tracks in the Vectis Formation (Lower Cretaceous) of the Wessex Sub-basin, southern England. *Cretaceous Research* 19, 471–87.

SCHERER, C. M. S.; FACCINI, U. F. & LAVINA E. L. 2000. Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (Eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. UFRGS-CIGO. p. 335-354.

SCHERER, C.M.S. and LAVINA, E.L.C., 2005. Sedimentary cycles and facies architecture of fluvial-eolian strata of the Upper Jurassic Grará Formation, southern Brazil. *Sedimentology*, 52, p. 1323-1341.

SCHERER, C.M.S. and LAVINA, E.L.C., 2006. Stratigraphic evolution of a fluvial–eolian succession: The example of the Upper Jurassic—Lower Cretaceous Guará and Botucatu Formations, Paraná Basin, Southernmost Brazil. *Gondwana Research*, 9, 475–484.

SMITH, R.H., 1987. Helical burrow casts of therapsid origin from the Beaufort Group (Permian) of South Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 60, 155–170.

SUNG PAIK, I., KIM, H. J. and LEE, Y. I., 2001. Dinosaur track-bearing deposits in the Cretaceous Jindong Formation, Korea: occurrence, palaeoenvironments and Preservation *Cretaceous Research*, 22, 79–92.

4 ANEXOS

From: **Journal of South American Earth Sciences** <[kellogg@geol.sc.edu](mailto:kellogg@geol.sc.edu)>  
Date: May 11, 2007 1:02 PM  
Subject: Submission Confirmation  
To: [pauladentzien@gmail.com](mailto:pauladentzien@gmail.com)

Dear Paula,

We have received your article "Taphonomy and paleoecology inferences of vertebrate ichnofossils from Guar Formation (Upper Jurassic?), Southern Brazil" for consideration for publication in Journal of South American Earth Sciences.

Your manuscript will be given a reference number once an editor has been assigned.

To track the status of your paper, please do the following:

1. Go to this URL: <http://ees.elsevier.com/sames/>
2. Enter these login details:  
Your username is: pauladentzien  
Your password is:
3. Click [Author Login]  
This takes you to the Author Main Menu.
4. Click [Submissions Being Processed]

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System  
Journal of South American Earth Sciences

\*\*\*\*\*

Please note that the editorial process varies considerably from journal to journal. To view a sample editorial process, please click here:

[http://ees.elsevier.com/eeshelp/sample\\_editorial\\_process.pdf](http://ees.elsevier.com/eeshelp/sample_editorial_process.pdf)

For any technical queries about using EES, please contact Elsevier Author Support at [authorsupport@elsevier.com](mailto:authorsupport@elsevier.com)

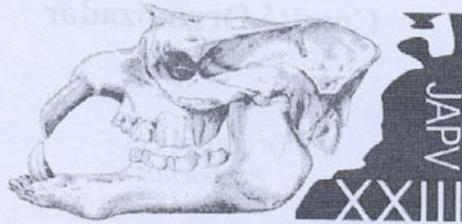
Global telephone support is available 24/7:

For The Americas: +1 888 834 7287 (toll-free for US & Canadian customers)

For Asia & Pacific: +81 3 5561 5032

For Europe & rest of the world: +353 61 709190

**XXIII JAPV**



Trelew, Patagonia Argentina  
21 – 24 de Mayo, 2007

**Programa de Comunicaciones Científicas  
y Libro de Resúmenes**

Editores

Dra. Ana María Báez, Dra. María Teresa Dozo, Lic. Silvina de  
Valais, Lic. Adrián Guillaume, Lic. María Encarnación Pérez,  
Dr. Diego Pol, Lic. Amalia Villafañe.



**2007**

parte, también del Miembro Puesto La Paloma, pero en otra localidad denominada "Turtle Town", Gaffney y coautores anunciaron el hallazgo de otro nuevo taxón de tortuga, que estos autores asignan a Cryptodira. El registro de tortugas Chelidae en la Formación Cerro Barcino es interesante ya que, si se confirma la edad Aptiana-Albiana de dicha Formación, se estaría en presencia de los quelidos más antiguos del mundo, aportando nuevos datos sobre la morfología de los primeros representantes de este grupo. Por otro lado, la presencia de quelidos en el Cretácico de Chubut, suma una nueva evidencia sobre la diferenciación temprana de estos pleurodirios en territorios surgondwánicos. *Esta contribución fue parcialmente financiada por PICT 25276 y PIP 5153*

<sup>1</sup>CONICET, Musco de Historia Natural de San Rafael, San Rafael, Mendoza, Argentina. [mdlafu@infovia.com.ar](mailto:mdlafu@infovia.com.ar); [julisterli@gmail.com](mailto:julisterli@gmail.com)

<sup>2</sup>Museo Paleontológico Egidio Feruglio. Trelew, Chubut, Argentina.

### Iconofósiles de vertebrados mesozoicos de Río Grande do Sul, Brasil

P.C. DENTZIEN-DIAS<sup>1,2</sup>, C.L. SCHULTZ<sup>1</sup> y C. BERTONI-MACHADO<sup>1,2</sup>

Los registros de iconofósiles de vertebrados mesozoicos están reconocidos en las formaciones Sanga do Cabral (Triásico Temprano), Caturrita (Triásico Tardío), Guará (Jurásico-Cretácico) y Botucatu (Cretácico), pertenecientes a la Cuenca Paraná. El contenido icnológico de la Formación Sanga do Cabral se limita a dos huellas aisladas. La primera es incompleta y pertenece a un arcosaurio semiplantígrado. La segunda es tetradáctila, plantígrada, con la extremidad redondeada, lo que ha permitido atribuirle a un Synapsida, probablemente un Dicynodontia. Los iconofósiles de las areniscas de la Formación Caturrita consisten en huellas redondeadas, encontradas en un nivel bastante dinoturbado y fueron preservadas individualmente. Éstas no se encuentran en buen estado, no obstante, algunas pudieron ser identificadas como de prosaurópodos. La unidad estratigráfica de Río Grande do Sul más rica en iconofósiles es la Formación Guará, cuyos niveles eólicos presentan varios yacimientos conteniendo huellas de dinosaurios. Fueron encontradas sendas y huellas aisladas, de formas redondeadas producidas por saurópodos de porte mediano, además de sendas y huellas de terópodos y ornitópodos. A pesar de la gran cantidad de niveles con huellas, no fue posible la identificación de una manera más específica por cuenta de su mala preservación. Más allá de las huellas, fueron encontradas crotovinas que cortan los estratos de una paleoduna y se cree que fueron hechas por mamíferos. Finalmente, de la Formación Botucatu existen sólo registros de dos baldosas de areniscas, con pésima preservación y sin una mejor información de su procedencia, que presentan sendas de pequeñas huellas, muy semejantes a huellas de *Brasilichnium* encontradas en la misma Formación, pero en el Departamento de São Paulo.

<sup>1</sup>Programa de Pós Graduação em Geociências, IG/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. [pauladentzien@gmail.com](mailto:pauladentzien@gmail.com), [cesar.schultz@ufrgs.br](mailto:cesar.schultz@ufrgs.br), [cristina.bertoni@gmail.com](mailto:cristina.bertoni@gmail.com).

<sup>2</sup>Bccaria CNPq.

### La predominancia de *Exaeretodon* Cabrera 1943 en una sección Triásica de Brasil y su probable correlación con el mismo evento en la porción mediana superior de la Formación Ischigualasto (Triásico de Argentina)

T.V. DE OLIVEIRA<sup>1,2</sup> y C.L. SCHULTZ<sup>1</sup>

Desde hace mucho se conoce la correlación biostratigráfica entre los niveles superiores de la Formación Santa Maria de Brasil con la Formación Ischigualasto, en Argentina. Esta correlación (de Edad Carniana) está basada fundamentalmente en el abundante contenido de rincosáurios (*Hyperodapedon* Huxley, 1859) en estos dos niveles estratigráficos. Sin embargo, la Fauna de Ischigualasto muestra una variación en su contenido fosilífero desde la base hasta el tope. *Hyperodapedon* es el taxón más abundante en los primeros 110m de la Formación Ischigualasto, seguido por el cinodonte *Exaeretodon* Cabrera, 1943 y el dicinodonte *Ischigualastia* Cox, 1962. En los siguientes 80m ocurre una progresiva inversión en las cantidades relativas de *Hyperodapedon* y *Exaeretodon* y entonces desaparecen *Hyperodapedon* y *Ischigualastia*, mientras que *Exaeretodon* sigue ocurriendo por más unos 50 m. Por su turno, nunca habían sido detectadas semejantes variaciones en el contenido fosilífero en los niveles superiores de La formación Santa Maria, donde los rincosáurios siempre han sido los fósiles dominantes, con escasas ocurrencias de *Exaeretodon* y ausencia completa de *Ischigualastia*. Sin embargo, recientemente se ha revelado un yacimiento, con abundante contenido fosilífero, donde ocurre la predominancia, en cantidad, de *Exaeretodon* sobre *Hyperodapedon*. Esto sugiere la posibilidad de un refinamiento en la correlación biostratigráfica entre estos paquetes del Triásico Superior de Brasil y Argentina, con el establecimiento de nuevas biozonas basadas en la cantidad relativa entre estos dos taxones, así como abre la discusión acerca de las causas que han llevado a este cambio faunístico en toda la parte sur de la América del Sur.

<sup>1</sup>Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Bairro Agronomia, Porto Alegre, RS, Brasil. [tvoli@pop.com.br](mailto:tvoli@pop.com.br), [cesar.schultz@ufrgs.br](mailto:cesar.schultz@ufrgs.br)

<sup>2</sup>Becário CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico)

### Diferencias en el esqueleto postcraniano de los cinodontes transversodóntidos *Exaeretodon riograndensis* Abdala et al. 2002 y *E. frenguelli* Cabrera 1943

T.V. DE OLIVEIRA<sup>1,2</sup>, C.L. SCHULTZ<sup>1</sup> y M.B. SOARES<sup>1</sup>

*Exaeretodon riograndensis* Abdala et al. 2002 de la Formación Santa Maria (Triásico Superior de Brasil) y *E. frenguelli* Cabrera 1943 de la Formación Ischigualasto (Triásico Superior de Argentina) son distinguidas por la presencia, en *E. riograndensis*, de crestas en la cara ventral del proótico y por la menor variación del número de dientes postcaninos en su ontogenia (este último



# Paleontologia em Destaque

Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Paleontologia  
[www.sbpbrasil.org](http://www.sbpbrasil.org)

Ano 22, n. 57

Janeiro, Fevereiro, Março, 2007

## EDITORIAL

Como nos demais anos, o BPD do primeiro trimestre é dedicado especialmente à publicação dos resumos apresentados nas Paleos 2006, realizadas em várias regiões do país. Ao todo, 82 trabalhos foram enviados. Alguns coordenadores das Paleos nos enviaram mensagens, como Cristina Vega Dias, coordenadora da Paleo PR/SC: "Nossa Paleo foi um sucesso, tivemos 90 inscritos no total, com 26 trabalhos apresentados"; e Karin Elise Bohns Meyer, coordenadora da Paleo MG, que menciona o sucesso da palestra sobre "A extinção dos Mamíferos no Pleistoceno: uma teoria a respeito" proferida por Castor Cartelle Guerra.

A Paleo RS aconteceu na Unisinos, em 7/12, e reuniu 88 professores, pesquisadores e estudantes. Uma das palestras que marcou o encontro foi da professora Ana Carolina Regner, que tratou "O pensamento de Darwin na concepção da obra 'Sobre a origem das espécies'". Sua proposta foi a de dar uma visão geral sobre a obra (Foto).

Gostaríamos de aproveitar a oportunidade para agradecer aos dez paleontólogos que gentilmente aceitaram nosso convite para

revisar os resumos, os quais abordaram temas variados.

Nesse número, excepcionalmente, incluímos também dois textos do colega Alexander W. Kellner, entre eles um resumo de seu trabalho na coluna "Caçadores de Fósseis" desde que esta foi lançada.

Não podemos deixar de mencionar a participação de Silvia Césari, Presidente da Associação Argentina de Paleontologia, que contribuiu com a seção "Eventos" deste Boletim, enviando-nos uma listagem dos encontros científicos que serão realizados no país vizinho. A Silvia, nossos sinceros agradecimentos.

No próximo número não perca os artigos "Catadores de Fósseis", de Cristina Bertoni-Machado e Michael Holz (UFRGS), e "O Maranhão há 95 milhões de anos", de Rafael Matos Lindoso, sobre os fósseis da Ilha do Cajual.

Boa leitura!

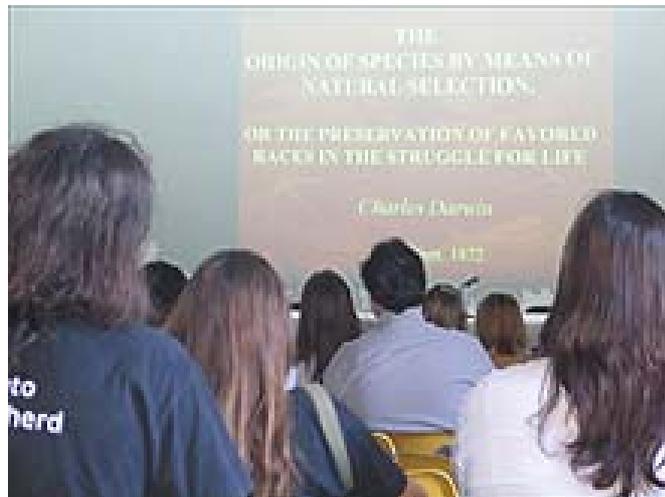


Foto: Apresentação da Palestra "O pensamento de Darwin na concepção da obra 'Sobre a origem das espécies'", proferida por Ana Carolina Regner, São Leopoldo, UNISINOS

### Neste número:

|   |    |
|---|----|
| Paleos 2006 – sumário                         | 2  |
| Paleos 2006 – resumos                         | 4  |
| Reunião Núcleo São Paulo                      | 50 |
| Caçadores de Fósseis - dois anos de atividade | 51 |
| O projeto <i>Maxakalisaurus topai</i>         | 51 |
| Lançamento de livros                          | 53 |
| Links interessantes                           | 53 |
| Eventos                                       | 54 |

## MORFOLOGIA FUNCIONAL DAS PEGADAS DE ESFENODONTÍDEOS DO TRIÁSSICO SUPERIOR (FORMAÇÃO SANTA MARIA) DO SUL DO BRASIL

RAFAEL COSTA DA SILVA\*

Depto. de Geologia, IGEO, CCMN, UFRJ, RJ, *paleoicno@yahoo.com.br*

JORGE FERIGOLO

Museu de Ciências Naturais, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, RS, *jorge.ferigolo@fz.b.rs.gov.br*

ISMAR DE SOUZA CARVALHO\*

Departamento de Geologia, IGEO, CCMN, UFRJ, RJ, *ismar@geologia.ufrj.br*

ANTONIO CARLOS SEQUEIRA FERNANDES\*

Museu Nacional, UFRJ, RJ, *fernande@acd.ufrj.br*

Pegadas de vertebrados triássicos são relativamente abundantes em todo o mundo, mas ainda pouco conhecidas no Brasil. Na Formação Santa Maria há registros preliminares de pegadas produzidas por animais lacertóides de pequeno porte, sendo objetivo deste trabalho analisar as características morfológicas, biomecânicas e comportamentais dos organismos que as produziram. O material consiste em seis amostras com pegadas provenientes do afloramento Predebon (Município de São João do Polêsine, Estado do Rio Grande do Sul) depositadas na coleção paleontológica do Museu de Ciências Naturais, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul. As pegadas são pentadáctilas com escalonamento dos dígitos I a IV; o dígito V é menor; todos terminam em garras longas e curvas; o eixo das pegadas dos pés é rotacionado latero-posteriormente. As pistas representam andar alternado e estão associadas a marcas de arraste de cauda. A análise estatística revelou que as pegadas representam uma população natural e homogênea. Em uma das amostras, apenas impressões dos pés e da cauda estão preservadas; a explicação mais plausível é que a pista foi produzida em locomoção bípede com velocidade maior, visto que as pegadas são mais profundamente impressas e os valores relativos à pista são maiores que a média das demais pistas. Assim, o animal produtor seria lacertóide com autopódios semelhantes ao padrão primitivo dos Amniota, pentadáctilo, semiplantígrado e semipalmígrado, quadrúpede, com postura espriada e cauda longa, que tocava o chão durante a locomoção. Poderia atingir velocidades maiores em distâncias curtas com postura bípede. A distância gleno-acetabular corresponde a 2,8 cm e o comprimento do corpo a 5,6 cm. Os dígitos longos com garras curvas e a reversão dos pés correspondem a adaptações para o hábito de vida escalador, possivelmente arborícola, de modo que as garras posteriores pudessem ser puxadas contra as anteriores. Esta ocorrência constitui o registro mais antigo desse tipo de ancoragem. Os icnofósseis podem então ser atribuídos a Sphenodontia (Rhynchocephalia), os únicos do Triássico que poderiam produzir pegadas com esse padrão. Embora não existam registros de Sphenodontia na Formação Santa Maria, eles ocorrem na unidade sobreposta, a Formação Caturrita. Considerando-se a seqüência Alemoa-Caturrita como concordante e contínua, a diferença de idade entre elas seria pequena, dentro dos limites do Carniano, o que torna a atribuição dessas pegadas aos esfenodontídeos concordante com a distribuição conhecida do grupo. [\*Bolsista PQ/CNPq]

## PRIMEIRO REGISTRO DE PEGADAS DE DINOSSAUROS PARA A BACIA DO IGUATU, ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

DANIEL COSTA FORTIER\*, PAULA CAMBOIM DENTZIEN-DIAS\*\*, CESAR LEANDRO SCHULTZ \*\*\*

PPGGeo, IG/UFRGS, RS. *danielcfortier@yahoo.com.br*, *pauladentzien@gmail.com*, *cesar.schultz@ufrgs.br*

No centro-oeste do Estado do Ceará encontram-se quatro pequenas bacias sedimentares: Icó, Iguatu, Lima Campos e Malhada Vermelha, conhecidas como “as bacias sedimentares do Iguatu”, com possível idade Cretáceo Inferior (Neocomiana). Pegadas de dinossauros são comuns nas bacias interiores cretáceas do Nordeste - como as famosas pegadas de Sousa, na Paraíba - e já haviam sido registradas nas bacias de Malhada Vermelha e Lima Campos. No presente trabalho, reporta-se o primeiro achado deste tipo para a Bacia de Iguatu. Em fácies fluviais, foram encontradas duas pequenas pegadas com cerca de 5 cm cada uma, posicionadas quase paralelas uma à outra. O modo de preservação sugere que se tratam, na verdade, de *undertracks*, de modo que a informação referente à morfologia das pegadas é bastante precária. Ainda assim, é possível distinguir que são pegadas com três dígitos e marcas de garras nas extremidades distais, o que indica que tratam-se de duas possíveis pegadas de pequenos dinossauros terópodes. Como as bacias interiores do Nordeste são temporalmente correlatas (Cretáceo Inferior) e os aspectos ambientais facilitaram a preservação das pegadas dinossaurianas, estes dados possibilitaram criar o “Borborema *Megatracksite*” [Viana, M.S.S.; Lima Filho, M.F.; Carvalho, I.S. 1993. Simpósio de Geologia do Nordeste, 15, SBG/Núcleo Nordeste. Boletim, 13:23-25.], cuja abrangência é agora aumentada, em função da

presente descoberta, passando a incluir também a Bacia do Iguatu. Apesar da Bacia do Iguatu estar separada geograficamente das demais bacias interiores com icnofósseis de dinossauros, isto não impede a correlação de todas através do “Borborema *Megatracksite*”, uma vez que um *megatracksite* é caracterizado por ter uma grande área de abrangência e eles podem estar separados por erosão e pela topografia. [\*Bolsista CAPES; \*\* Bolsista CNPq; \*\*\*Bolsista PQ/CNPq]

## ESTROMATÓLITOS E RECURSOS MINERAIS: UMA AVALIAÇÃO

NARENDRA K.SRIVASTAVA

Depto. de Geologia, UFRN, Natal, RN, [narendra@geologia.ufrn.br](mailto:narendra@geologia.ufrn.br)

ANTÔNIO JOSÉ DOURADO ROCHA

CPRM- Serviço Geológico do Brasil, Salvador, BA, [dourado@cprmba.gov.br](mailto:dourado@cprmba.gov.br)

Os estromatólitos e seus construtores predominantes (cianobactérias, archaeobactérias) são conhecidamente as mais antigas evidências da vida na Terra e, portanto, são intensamente estudados para compreender melhor os diversos enigmas da vida (origem e evolução) e da Geologia (ambientes deposicionais, idades geológicas das rochas, principalmente no Pré-Cambriano). Entretanto, pouca atenção está sendo dispensada por parte dos paleontólogos e, principalmente, por geólogos, de investigar a efetiva importância de cianobactérias e estromatólitos na prospecção e exploração de diversos recursos minerais. As pesquisas mais recentes neste sentido demonstram que durante certos tempos geológicos e sob condições ambientais especiais, as cianobactérias, estromatólitos e rochas associadas funcionaram como rochas hospedeiras de diversas mineralizações significantes. Os processos de mineralizações biogênicas ainda estão sendo bastante discutidos, mas o papel dos processos biológicos de cianobactérias, archaeobactérias e eubactérias, acoplados aos catalisadores metálicos para efetuar a fotossíntese ao longo do tempo geológico, é considerado de fundamental importância para o desenvolvimento de mineralizações diversas. Vale salientar que nem todos os tipos de estromatólitos ou de cianobactérias são responsáveis pelas mineralizações. Algumas das importantes mineralizações conhecidas de diversos lugares do mundo e cujas origens são direta ou indiretamente relacionadas com estromatólitos e cianobactérias/archaeobactérias/eubactérias são: fosfatos (Brasil, Índia, Maurítânia), cobre-cobalto (República Democrática de Congo), ouro (África do Sul, EUA, Canadá, Brasil?), BIF (Brasil, Austrália, Índia, EUA), hidrocarbonetos (Rússia, Austrália, Brasil?), magnesita (Brasil), Pb-Zn-Ag (Brasil, EUA, Canadá), manganês (Israel), gipsita (Chipre), fluorita-barita (Brasil), calcários (Brasil, Austrália, Maurítânia, China, etc.) e outros. Desta maneira podemos constatar que o estudo de estromatólitos e de cianobactérias fósseis é de fundamental importância para descobrir novas mineralizações em terrenos sedimentares, principalmente no Pré-Cambriano do Brasil.

## Paleontologia de Invertebrados

### ESTADO-DA-ARTE DA SISTEMÁTICA DOS CORAIS DO CRETÁCEO DO BRASIL

ALBERTO CORRÊA DE VASCONCELLOS

Colégio de Aplicação, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, SE, [acvascon@ufs.br](mailto:acvascon@ufs.br)

Os corais escleractíneos de idade cretácea podem ser considerados um grupo bastante estudado no Hemifério Norte. Ocorrências são citadas para a América do Norte, sul da Europa, norte da África e Oriente Médio. Tradicionalmente este grupo de corais tem sido utilizado como bioindicador de profundidade, salinidade e condições climáticas para os mares do Cretáceo. Porém, em sua maioria, estes estudos baseiam-se em classificações que datam hoje algo em torno de sessenta anos, classificações estas que cunharam termos como “hermatípico” e “ahermatípico”. Trabalhos recentes em sistemática vêm demonstrando que as classificações erigidas no intervalo entre 1945 e 1956 para os Scleractinia não mais se sustentam. No momento atual ocorre um

## **Icnofósseis de Vertebrados: Importância e aplicações**

*Paula C. DENTZIEN-DIAS\* & Cezar Leandro SCHULTZ*

*\*Bolsista CNPq, pauladentzien@gmail.com*

Icnofóssil é toda estrutura de bioturbação (escavações, trilhas e pistas em sedimentos inconsolidados) ou bioerosão (perfurações em substratos duros - rocha, madeira, conchas, ossos, etc.) que fica preservada no registro fóssil e pode ser identificada morfológicamente (Seilacher, 2003). A icnologia é importante porque inclui o registro de formas de corpo mole (que normalmente não se preservam), mostra a diversidade de comportamento das assembléias fossilíferas, demonstra o grau de retrabalhamento dos sedimentos pelos organismos, auxilia nas interpretações paleoambientais e paleoecológicas e indica o topo e a base das camadas (Carvalho & Fernandes, 2000).

O estudo dos icnofósseis de vertebrados (pegadas, trilhas, tocas, coprólitos, ovos, ninhos, etc.) vem sendo uma área da paleontologia um pouco negligenciada, entretanto, novos trabalhos têm comprovado a sua relevância.

Os icnofósseis possuem algumas vantagens sobre os fósseis em geral: 1) eles sempre ocorrem *in situ*, enquanto que os fósseis corporais não; 2) são registrados com mais frequência em rochas nas quais os fósseis corporais são menos comuns (como siltitos e arenitos) e muitas vezes mal preservados e 3) têm sua visibilidade aumentada pela diagênese, enquanto os fósseis corporais têm seus detalhes estruturais destruídos (Carvalho & Fernandes, 2000).

No Mesozóico do Rio Grande do Sul os icnofósseis de vertebrados mais conhecidos e estudados são pegadas de dinossauros do Jurássico Superior e coprólitos do Triássico.

Para pegadas serem preservadas, por exemplo, dependerá da natureza do substrato e do sedimento que as cobrir. O sedimento que cobrir a pegada deve ser maleável e resistente e deve ter composição diferente do sedimento do substrato, gerando uma descontinuidade litológica. Isto facilita, com a ação posterior da erosão, a preservação da própria pegada ou de seu molde (dependendo de qual for a rocha mais resistente à erosão. Sedimentos finos (areias, siltes e argilas) e preferencialmente úmidos preservam melhor as características anatômicas dos pés que os pisam e facilitam o reconhecimento das pegadas.

Ocasionalmente, estas podem ser também preservadas em sedimentos com baixa taxa de umidade, como paleodunas.

Os locais mais comuns de serem preservadas pegadas são depósitos sedimentares ao longo de linhas de costa lacustres, em áreas alagadiças e pântanos, em planícies de inundação e ao redor de rios efêmeros em ambientes áridos ou semi-áridos.

Quando os sedimentos são transformados pela diagênese, tanto os fósseis quanto os icnofósseis podem sofrer modificações, má formação ou destruição.

Sedimentos retrabalhados por bioturbação ou por erosão podem resultar na destruição das pegadas, deixando somente suas *undertracks* (Fig. 1). A *undertrack* é uma deformação formada nas camadas sedimentares, abaixo daquela em que foi feita a pegada. As *undertracks* têm maior potencial de preservação porque elas já estão enterradas quando são feitas. A maioria das *undertracks* que se preservam são de animais de grande porte, devido ao peso corporal dos mesmos.

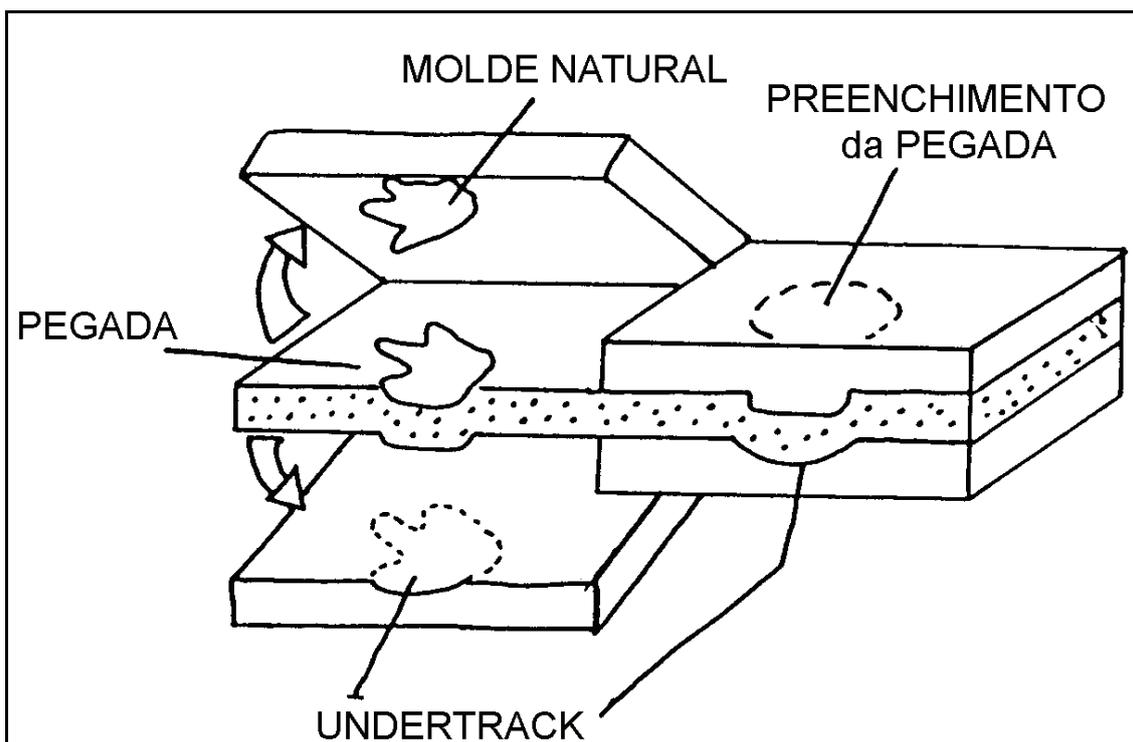


Figura 01: Pegadas, moldes e *undertracks*. (Modificado de Lockley, 1997).

É praticamente impossível determinar o gênero ou a espécie de animal que fez uma determinada trilha. Entretanto, geralmente é possível determinar um grupo taxonômico mais abrangente ao qual pertenceria o animal que produziu uma determinada pegada ou

trilha, já que as estruturas dos pés e os tipos de locomoção variam consideravelmente entre eles.

Os dinossauros, por exemplo, são divididos, em termos taxonômicos, em dois grandes grupos (Ornitísquios e Saurísquios), com base na estrutura de suas cinturas pélvicas. Entretanto, para efeitos do estudo de pegadas de dinossauros, é mais operacional determinar, primeiramente, se o animal era bípede ou quadrúpede.

Os dinossauros que faziam trilhas bípedes podem ser agrupados em dois grupos: terópodes (carnívoros) e ornitópodes (herbívoros). Segundo Kuban (1994), as pegadas de terópodes exibem, tipicamente, impressões de três dedos longos e estreitos, terminados com marcas de garras afiadas e com a parte posterior em forma de “V”. Dentro do grupo dos terópodes há uma divisão que é determinada pela espessura e comprimento dos dedos. Enquanto dedos curtos e espessos são atribuídos aos carnossauros, os dedos compridos e delgados são atribuídos aos coelossauros.

As pegadas de ornitópodes, por sua vez, são geralmente mais largas e com a parte posterior mais arredondada que as de terópodes e, nas pontas dos dedos, garras semelhantes a cascos deixam marcas arredondadas (Kuban, 1994).

Entretanto, quando as pegadas não estão bem preservadas, é praticamente impossível diferenciá-las, mesmo entre terópodes e ornitópodes.

Já os dinossauros quadrúpedes eram representados por vários grupos, que deixavam diferentes tipos de pegadas. Os Estegossauros, por exemplo, possuíam quatro dedos, enquanto os Anquilossauros possuíam cinco dedos. No entanto, as pegadas mais impressionantes, especialmente pelo tamanho, são as de Saurópodes. As pegadas dos pés dos saurópodes são arredondadas e possuem dedos curtos e terminados em garras, podendo a quantidade de dedos variar dependendo da espécie. Já as mãos deixam marcas semelhantes às pegadas de elefantes, com forma de meia lua.

Outros icnofósseis, como os coprólitos, ocorrem individualmente ou em massas isoladas nos sedimentos. O reconhecimento é muito difícil, uma vez que a forma dos coprólitos é muitas vezes indistinguível de simples concreções (Sarjeant, 1975).

Através da análise de coprólitos podem-se encontrar fragmentos dos materiais que os organismos utilizavam em sua

dieta. Por exemplo, restos vegetais ou restos de outros animais incluídos em coprólitos indicam se o animal que os produziu era herbívoro ou carnívoro e trazem informações sobre a vegetação e a presença de outros animais que viveram naquele local. Este estudo permite recuperar grande parte das informações do paleoambiente, podendo estabelecer, até mesmo, parte da cadeia alimentar entre os organismos.

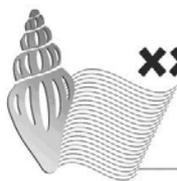
### **Conclusões**

O estudo de icnofósseis é uma importante ferramenta para a interpretação paleobiológica e paleoambiental. Os icnofósseis podem ser usados na interpretação da taxonomia, locomoção, comportamento social, zonação bioestratigráfica e evolução. Estudos recentes (Lockley, 1997) mostram que os icnofósseis fornecem excelentes evidências paleogeográficas da configuração de linhas de costa, *paleoslope* e saturação do sedimento.

Alguns icnofósseis podem trazer também informações sobre a cadeia alimentar dos organismos em diferentes períodos geológicos.

### **Referencias Bibliográficas**

- Carvalho, I. S. & Fernandes A. C. S. (2000). Icnofósseis. *In*: Carvalho I. S. (Ed.). Paleontologia. Rio de Janeiro 2000. Editora Interciência. 95-118.
- Kuban, G. J. (1994). An overview of dinosaur tracking. *In*: [www.members.aol.com/paluxy2/ovrdino.htm](http://www.members.aol.com/paluxy2/ovrdino.htm)
- Lockley, M. G., (1997). The paleoecological and paleoenvironment utility of dinosaur tracks. *In*: Farlow & Brett-Surman (Ed.). The Complete Dinosaur. Bloomington, Indiana University Press. 554-578.
- Sarjeant, W. A. S., (1975). Fossil tracks and impressions of vertebrates. *In*: Frey, R. W (Ed.). The study of trace fossils. Springer-Verlag. 283-324.
- Seilacher, A., (2003). Arte Fóssil. Divul. Mus. Ciênc. Tecnol. UBEA/PUCRS, Pub. Esp., Porto Alegre, nº1. 1-86.



Icnofósseis de vertebrados Mesozóicos do Rio Grande do Sul

*Mesozoic vertebrate ichnofossil from Rio Grande do Sul*

**SUBMETIDO**

**Autor(es) Paula C. Dentzien-Dias & Cesar Leandro Schultz**

**Afiliação(ões) Programa de Pós-Graduação em Geociências, IG-UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil**

**[E-mail \(s\) pauladentzien@hotmail.com](mailto:pauladentzien@hotmail.com), [cesar.schultz@ufrgs.br](mailto:cesar.schultz@ufrgs.br)**

**RESUMO**

Os primeiros registros de icnofósseis para o Mesozóico do Rio Grande do Sul surgiram apenas no final do Século XX. Atualmente, são conhecidas pegadas de Archosauria e Synapsida para a Formação Sanga do Cabral (Triássico Inferior), coprólitos atribuídos a dicinodontes, cinodontes e arcossauros para a Formação Santa Maria (Triássico Médio e Superior), pegadas de prosauropodes para a Formação Caturrita (Triássico Superior), crotovinas de mamíferos(?) e pegadas de saurópodes, terópodes e ornitópodes para a Formação Guará (Juro-Cretáceo) e pegadas indeterminadas para a Formação Botucatu (Cretáceo), todas pertencentes à Bacia do Paraná.

Palavras-chave: Icnofósseis de vertebrados, Mesozóico, Bacia do Paraná

**ABSTRACT**

*The first record of vertebrate ichnofossils from the Mesozoic of Rio Grande do Sul State was found in the end of the XX Century. Today, are known Archosauria and Synapsida footprints from the Sanga do Cabral Formation (Lower Triassic), coprolites of dicynodonts, cynodonts and archosaurs from the Santa Maria Formation (Middle and Upper Triassic), prosauropod footprints from Caturrita Formation (Upper Triassic), mammal(?) burrows and sauropod, theropod and ornithopod tracks from Guará Formation (Jurassic/Cretaceous) and indeterminate footprints from Botucatu Formation (Cretaceous), all from the Paraná Basin.*

*Key-words: Vertebrate ichnofossils, Mesozoic, Paraná Basin*

## 1 Introdução

O Mesozóico do Rio Grande do Sul (Figura 1) começou a ser estudado no início do século passado com White (1908) que correlacionou o pacote sedimentar da Serra do Rio do Rasto, em Santa Catarina, com as rochas da região de Santa Maria, que continham os fósseis de tetrápodes do Triássico já estudados por Woodward (1907). A partir de então, restos ósseos têm sido amplamente registrados para o Triássico do Rio Grande do Sul, conhecido hoje mundialmente pela sua diversificada fauna. Nesse meio tempo, porém, não se conheciam, para o Triássico gaúcho, registros de icnofósseis de vertebrados para nenhuma de suas Formações (Sanga do Cabral, Santa Maria e Caturrita), os quais só foram revelados na última década. Além disso, até 1997, acreditava-se que, no território Sul-rio-grandense, não teria havido deposição sedimentar no Jurássico, ou que tal pacote tivesse sido erodido. Entretanto, Scherer & Lavina (1997) identificaram uma seqüência de arenitos quartzosos esbranquiçados, localizados na região oeste do estado, abaixo da Formação

Botucatu (Cretáceo) e acima da Formação Pirambóia (Permiano Superior), a qual denominaram de Formação Guará. Nesta unidade, interpretada pelos autores como tendo sido depositada no Jurássico, por sua correlação litoestratigráfica com a Formação Tacuarembó, do Uruguai e por não corresponder a nenhuma das unidades conhecidas para o Triássico gaúcho, foram, posteriormente, encontradas pegadas de dinossauros (saurópodes, ornitópodes e terópodes) e também crocovinas, possivelmente relacionadas a pequenos mamíferos. Estes fósseis não permitem ainda definir categoricamente uma idade no Jurássico para o referido pacote, mas são bastante sugestivos nesse sentido.

Já a deposição Cretácea do Rio Grande do Sul está representada pelos depósitos eólicos da Formação Botucatu e pelos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral. Icnofósseis de vertebrados já eram conhecidos para a Formação Botucatu no Estado de São Paulo (Leonardi, 1980 e 1989), mas só foram registrados para o Rio Grande do Sul no final da década de 80.

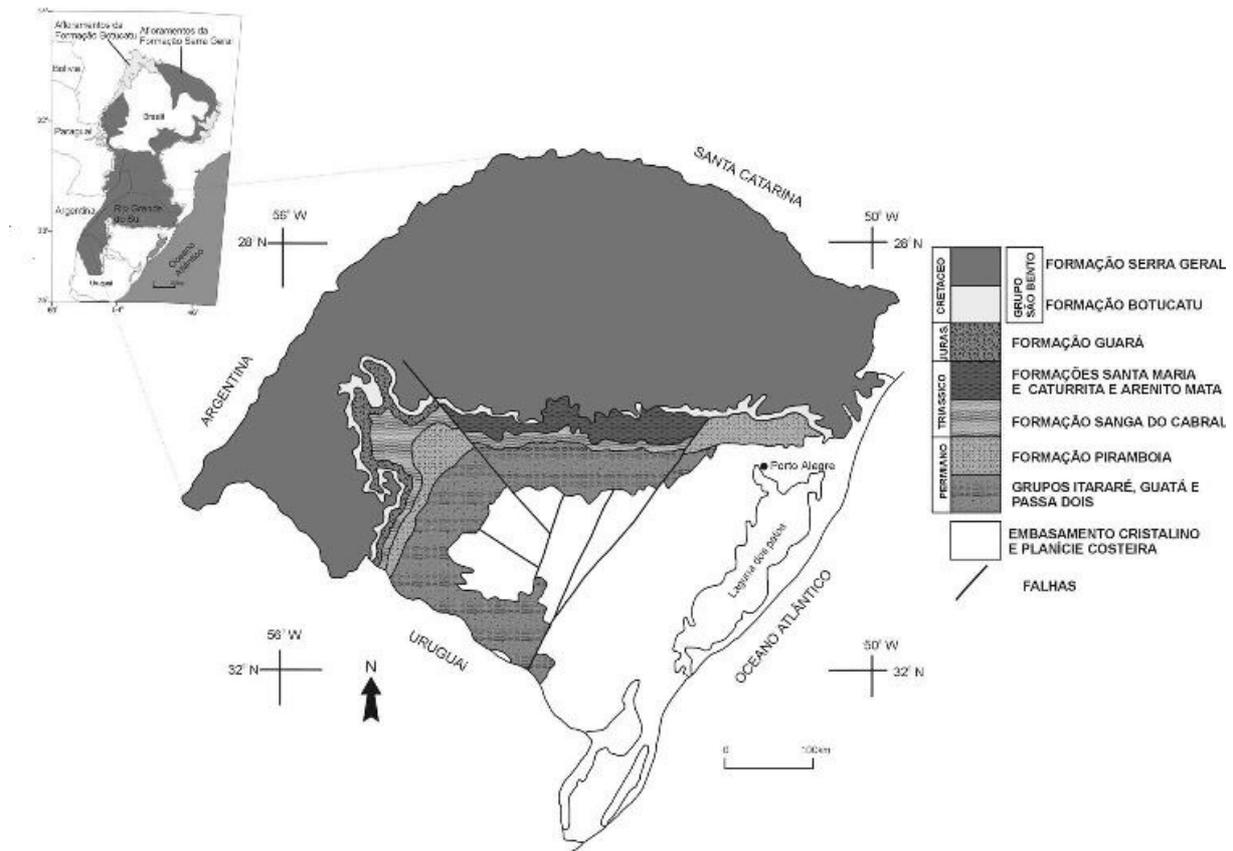


Figura 1: Mapa geológico simplificado das unidades litoestratigráficas neopermianas e mesozóicas do Rio Grande do Sul (modificado de Scherer et al., 2000).

## 2 Os Icnofósseis de vertebrados do RS

O conteúdo icnológico conhecido para a Formação Sanga do Cabral é composto por duas pegadas isoladas, preservadas sobre barras arenosas de um sistema fluvial (Costa da Silva, *et al.*, 2006b). Segundo os autores, a primeira delas, incompleta, não permite uma identificação precisa, mas apresenta dados suficientes para identificá-la como uma pegada semiplantígrada, com cerca de 10 cm de comprimento, de um pé direito de um arcossauro (Figura 2).



Figura 2: Pegada atribuída a Archosauria. À esquerda detalhe do dígito IV, mostrando impressões falangeais (Costa da Silva, *et al.*, 2006b).

A segunda pegada é tetradáctila, plantígrada, com as extremidades arredondadas e sem garras definidas, também com cerca de 10 cm de comprimento (Figura 3). Estes dados permitiram atribuir a pegada a um Synapsida, provavelmente Dicynodontia.

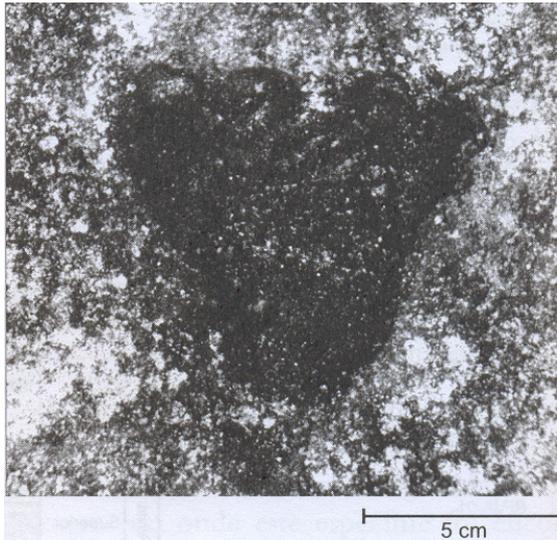


Figura 3: Pegada atribuída a Synapsida, Dicynodontia (Costa da Silva, *et al.*, 2006b).

Para a Formação Santa Maria (Triássico Médio e Superior) foram encontrados e descritos por Souto (2001) coprólitos atribuídos a dicinodontes (Figura 4), cinodontes e arcossauros. Através do estudo destes coprólitos, o autor conseguiu identificar padrões morfológicos distintos para herbívoros (dicinodontes) e carnívoros (cinodontes e arcossauros), bem como obter algumas conclusões paleoecológicas (comportamento gregário), paleoclimáticas e paleobiológicas.



Figura 04: Coprólito aglomerado atribuído a um dicinodonte (escala 10 cm).

Num dos níveis de arenitos fluviais da Formação Caturrita foram encontrados icnofósseis de vertebrados (Costa da Silva, *et al.*, 2006a), constituídos por pegadas arredondadas que puderam ser individualizadas dentro de um nível fortemente dinoturbado, com pegadas variando de 16 a 30 cm de largura e 12 a 27 cm de comprimento (Figura 5). Entretanto, segundo os autores, as pegadas não estão bem preservadas e puderam ser interpretadas apenas como pertencendo a animais de grande porte, sendo algumas delas atribuídas, tentativamente, a Prossauropodes.

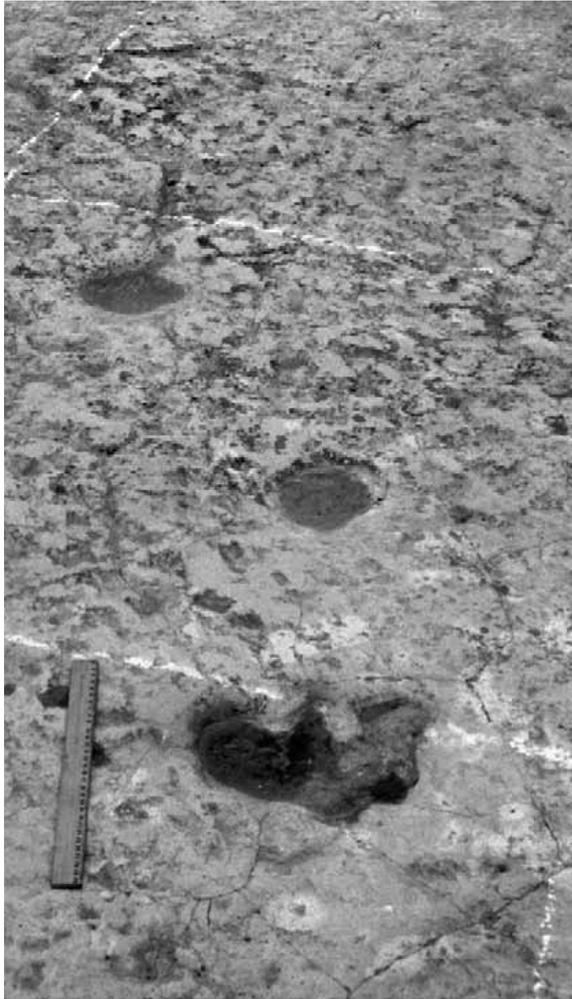


Figura 5: Sequência de estruturas de deformação tipo “finger-like” (Costa da Silva, *et al.*, 2006a ) (escala de 30 cm).

A unidade estratigráfica mais rica, em termos de icnofósseis, para o Rio Grande do Sul, é a Formação Guará, em cujos níveis eólicos já foram encontrados diversos afloramentos contendo pegadas de dinossauros.

Entre estas, foram encontradas trilhas e pegadas isoladas, em planta e em perfil, com formas arredondadas e cerca de 50 cm de diâmetros (Figura 6), atribuídas a saurópodes de médio porte.

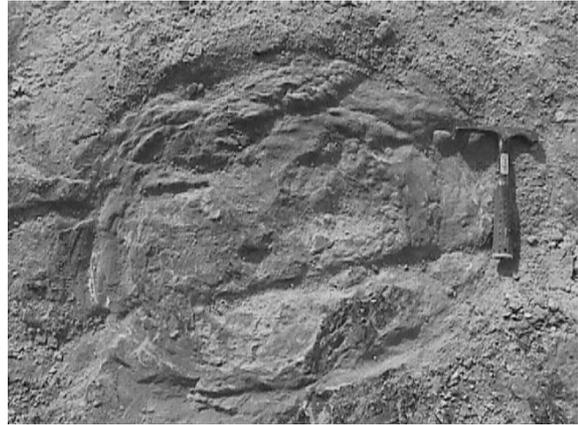


Figura 6: Pegada atribuída a um saurópode com cerca de 50 cm de diâmetro.

Também foram encontradas trilhas e pegadas isoladas de terópodes (com tamanhos variando entre 20 cm e 35 cm) (Figura 7.1), bem como de ornitópodes de 30 cm a 40 cm (Figura 7.2).

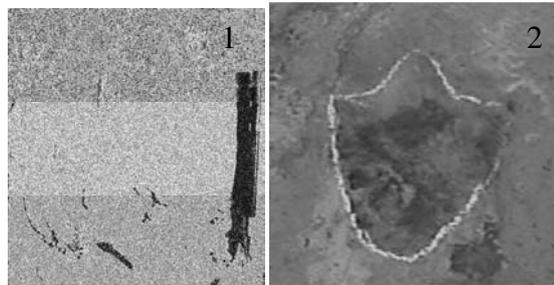


Figura 7: 1) Pegada de terópode com 18cm de comprimento; 2) Pegada de ornitópode com 40cm de comprimento.

Todas as pegadas descritas acima foram encontradas em depósitos de lençóis de areia eólicos. Diferindo desse padrão, foram encontradas apenas duas pegadas de terópodes, em sequência, cortando o *foreset* de uma paleoduna (Figura 08).

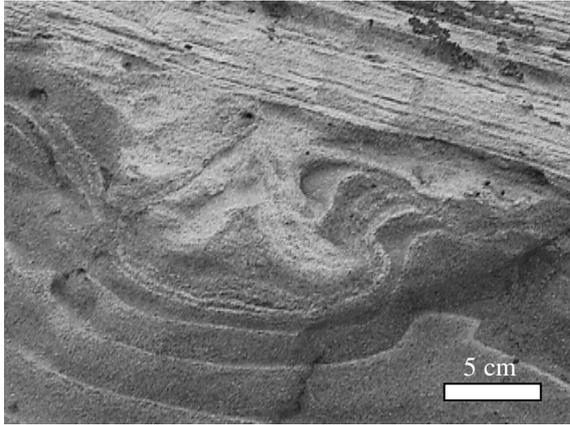


Figura 8: Pegada de terópode em uma paleoduna, em corte. É possível visualizar que o animal escorregou para baixo (direita da foto) enquanto subia a duna.

Apesar da abundância de níveis com pegadas, não foi possível classificá-las de uma maneira mais precisa devido a sua má preservação (Dias, *et al.*, 2002; Dentzien-Dias & Bertoni-Machado, 2005).

Além das pegadas, foram encontradas, ainda, crotovinas com cerca de 20 cm de diâmetro e até 4 m de comprimento, cortando os estratos de uma paleoduna (Figura 9), as quais acredita-se que foram escavadas por pequenos mamíferos (Dias, *et al.*, 2002; Dentzien-Dias & Bertoni-Machado, 2005).

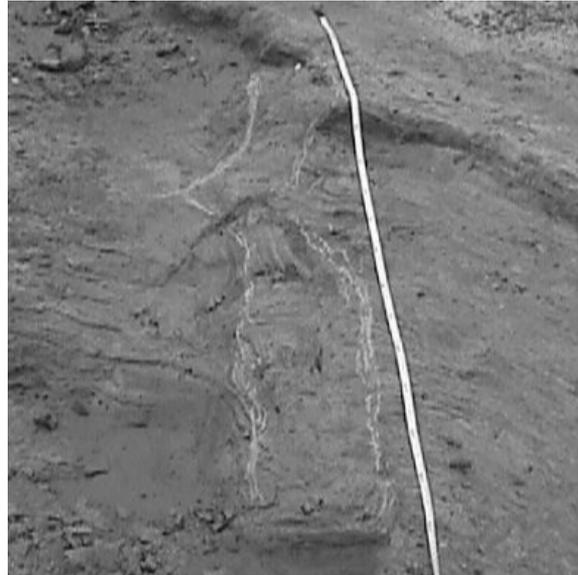


Figura 9: Crotovina de 1m e 50 cm de comprimento por 20 cm de largura, com uma possível bifurcação.

Finalmente, para a Formação Botucatu, existe, para o Rio Grande do Sul, somente o registro de uma placa - laje de calçamento retirada de uma calçada - mal preservada e de procedência incerta, contendo trilhas de pequenas pegadas. Esta laje foi encontrada na cidade de Santa Cruz do Sul (UFRGS PV 0001 K) e provavelmente provém de alguma das várias pedreiras existentes no município. Contém uma trilha de pegadas com cerca de 3 cm (Figura 10) e foi descrita por Leonardi (1989) como sendo de um pequeno dinossauro bípede. Entretanto, em nossa opinião, a bitola sugere que o animal era quadrúpede. Embora não se possa identificar diferenciação entre pegadas de patas dianteiras e traseiras, isto pode ter acontecido pela sobreposição destas sobre aquelas.

Além disso, na mesma laje, abaixo da trilha acima descrita, é possível ver marcas de uma segunda trilha, menor, mas que não fornece maiores informações.



Figura 10: Trilhas em laje da Formação Botucatu, a maior com pegadas de cerca de 3cm (escala 7 cm).

### 3 Conclusões

A descoberta de icnofósseis em todas as unidades mesozóicas do Rio Grande do Sul, na últimas décadas, reflete a intensificação dos trabalhos de prospecção e coleta destes tipos de fósseis para o Estado, nas últimas décadas, e corrobora a existência de abundantes e diversificadas faunas em todos os períodos desta Era, na região. A obtenção de resultados tão expressivos, num intervalo de tempo relativamente curto, sugere que existe muito ainda por ser descoberto nos próximos anos, se for mantida uma busca constante e sistemática.

### 4 Referências Bibliográficas

Costa da Silva, R., Carvalho, I. S. & Schwanke, C., 2006 (a). Vertebrate

dinoturbation from the Caturrita Formation (Late Triassic, Paraná Basin), Rio Grande do Sul, Brazil. *Gondwana Research*, In Press, Corrected Proof, Available online 7 September 2006.

Costa da Silva, R., Schwanke, C. & Carvalho, I. S., 2006 (b). Análise de pegadas fósseis da Formação Sanga do Cabral (Eotriássico, Bacia do Paraná), Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. In: Gallo, Brito, Silva & Figueiredo (eds.). *Paleontologia de Vertebrados: Grandes Temas e Contribuições Científicas*. p. 275-284.

Dias, P. C. D.; Schultz, C. L. & Scherer, C. M. S. 2002. Pegadas de dinossauros da Formação Guará (Jurássico Superior?), Bacia do Paraná, RS. *Paleontologia em Destaque*. Nº 40, p.25.

Dentzien-Dias, P. C. & Bertoni-Machado, C., 2005. - New discovers of dinosaurs footprints from Late Jurassic(?) Guará Formation, Southern Brazil. In: Jornadas Argentinas de Paleontologia de Vertebrados XXI, Plaza Huincul. *Resúmenes*, p. 15.

Faccini, U. F., 1989. *O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul. Uma análise sob o ponto de vista das seqüências deposicionais*. Curso de Pós-

- Graduação em Geociências. 121p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, UFRGS.
- Lavina, E. L. 1991. *Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano ao Eotriássico (Intervalo Kazaniano-Scythiano) da Bacia do Paraná*. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, p.333.
- Lavina, E. L. & Scherer, C. M. S. 1997. Arquitetura estratigráfica da sedimentação Neopermiana e Mesozóica na região oeste do estado do Rio Grande do Sul. Implicações na construção do arcabouço cronoestratigráfico da Bacia do Paraná. *In: 3<sup>o</sup> Simpósio Sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná. Boletim de Resumos.* p. 33-34.
- Leonardi, G. 1989. Inventory and statistics of the South American dinosaurian ichnofauna and its paleobiological interpretation. *In: Gillette, D.D. & Lockley, M.G. (eds). Dinosaur tracks and traces.* Cambridge, Cambridge University, p. 165-178.
- Scherer, C. M. S. & Lavina, E. L. 1997. Aloformação Guará: Uma nova unidade estratigráfica Mesozóica na porção meridional da Bacia do Paraná. *In: 3<sup>o</sup> Simpósio Sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná. Boletim de Resumos.* p. 36-37.
- Scherer, C.M.S., Lavina, E.L.C., 2005. Sedimentary cycles and facies architecture of fluvial-aeolian strata of the Upper Jurassic Grará Formation, southern Brazil. *Sedimentology*, 52, p. 1323-1341
- Scherer, C. M. S.; Faccini, U. F. & Lavina E. L. 2000. Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. *In: Holz, M. & De Ros, L. F. (Eds.). Geologia do Rio Grande do Sul. UFRGS-CIGO.* p. 335-354.
- Souto, P. R. F., 2001. Tetrapod coprolites from the Middle Triassic of Southern Brazil. *Gaia*, 16, p. 51-57.
- White, I. C., 1908. Relatório final da Comissão de Estudos de Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Relatório sobre as coal measures e rochas associadas do sul do Brasil. Parte I: *Geologia.* 300p.
- Woodward, A.S., 1907. On some fossil reptilian bones from State of Rio Grande do Sul: considerações sobre fósseis do estado do Rio Grande do Sul. *Revista do Museu Paulista*, v.7, p. 46-57.