

# Jazigo Icnofossilífero do Ouro, Araraquara, SP

## *Ricas pistas de tetrápodes do Jurássico*

SIGEP 79

Giuseppe Leonardi<sup>1</sup>  
Ismar de Souza Carvalho<sup>2</sup>

O jazigo icnofossilífero do Ouro (Araraquara, Estado de São Paulo) uma das mais ricas regiões icnológicas do Jurássico da América do Sul. Os icnofósseis são encontrados em arenitos eólicos avermelhados, em litofácies consideradas como depósitos de dunas e interdunas. Estes arenitos são designados como Formação Botucatu, e originalmente recobriam uma superfície estimada em pelo menos 1.300.000 km<sup>2</sup>, constituindo o maior deserto já existente na superfície da Terra.

As pistas de tetrápodes das pedreiras da região do Ouro compreendem formas dinossauróides bípedes, além de formas teromorfoídes e mamaliformes. Esta icnofauna parece ser completamente endêmica. Também ocorrem icnofósseis de invertebrados que são interpretados como pistas e escavações de insetos e anelídeos.

Dezessete sítios icnofossilíferos análogos à localidade do Ouro têm sido descobertos ao longo de uma faixa de 2.500 km em afloramentos da Formação Botucatu, Bacia do Paraná. O estudo detalhado desta importante icnofauna encontra-se apenas em sua fase inicial.

### ***Ichnosite of Ouro, Araraquara, State of São Paulo - Rich tracks of Jurassic tetrapod***

*The ichnosite of Ouro (Araraquara, São Paulo State) is one of the richest tetrapod ichnologic area of Jurassic age in South America. The ichnofossils are found in eolian sandstones, reddish colored in lithofacies considered to be dune and interdune deposits. These sandstones are named as Botucatu Formation, and originally covered a surface estimated in at least 1,300,000 km<sup>2</sup>, constituting the largest known fossil desert in the world.*

*The tetrapod tracks from the Ouro quarries comprise bipedal dinosauroids of relatively large and smaller types; theromorphoid and mammaloid forms. This ichnofauna seems to be completely endemic and, therefore, quite new to science. Also occur invertebrate trace fossils produced by insects and earthworms.*

*Seventeen ichnosites analogous to that of Ouro site have been discovered along the strip of nearly 2,500 km where the Botucatu Formation sandstones outcrops at Paraná Basin. A complete and detailed study of this ichnofauna is in its initial phase.*

## INTRODUÇÃO

O sítio icnológico do Ouro está situado no estado de São Paulo, no município de Araraquara, a cerca de 4 quilômetros leste da estação de ferro Ouro, ramal São Carlos - Araraquara. Na região ocorrem várias pedreiras: São Bento - Corpedras (código: ARSB); Califórnia (ARCA); Cerrito Velho (ARCE); Cerrito Novo (ARCN); Santa Águeda (ARSA); Chibarro (ARCH). Atualmente somente a pedreira São Bento - Corpedras encontra-se em funcionamento. Os arenitos desta exploração são utilizados como material de construção, especialmente na pavimentação e revestimento de paredes e pilares. As coordenadas deste jazigo são de 21°49'S; 48°05'W.

Os arenitos que apresentam as pegadas pertencem à Formação Botucatu. Esta unidade litoestratigráfica abrange arenitos eólicos mesozóicos que se estendem numa faixa ao longo do território brasileiro entre os estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul; também aparecem na borda oeste da Bacia do Paraná nos estados de Mato Grosso e Goiás (Figura 1).

As litofácies da Formação Botucatu são consideradas como depósitos de dunas (com fácies de foreset) e interdunas secas. Estes refletiriam o cavalgamento de grandes dunas, que devido ao alto suprimento de areia, a construção do *erg*, superaria a taxa de elevação do lençol freático, fazendo com que as áreas interdunas permanecessem secas (Caetano-Chang, 1997). Apesar desta condição ambiental do deserto Botucatu, devem ter existido alguns pequenos lagos, especialmente em áreas onde as icnofaunas de tetrápodes são abundantes.

## GEOLOGIA

A Formação Botucatu é composta por arenitos eólicos de coloração avermelhada, que originalmente cobriam uma superfície estimada de 1.300.000 km<sup>2</sup>, constituindo o maior deserto já existente na superfície da Terra (Almeida, 1954). Do ponto de vista paleontológico, com exceção aos icnofósseis, não há fósseis na Formação Botucatu, o que tem sido atribuído como consequência do ambiente desértico.

A idade destes depósitos tem sido tradicionalmente considerada como pertencente ao Triássico. Leonardi (1977) propôs uma idade compreendida entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior. Contudo, Leonardi & Oliveira (1990) reconheceram que a datação destes depósitos não era

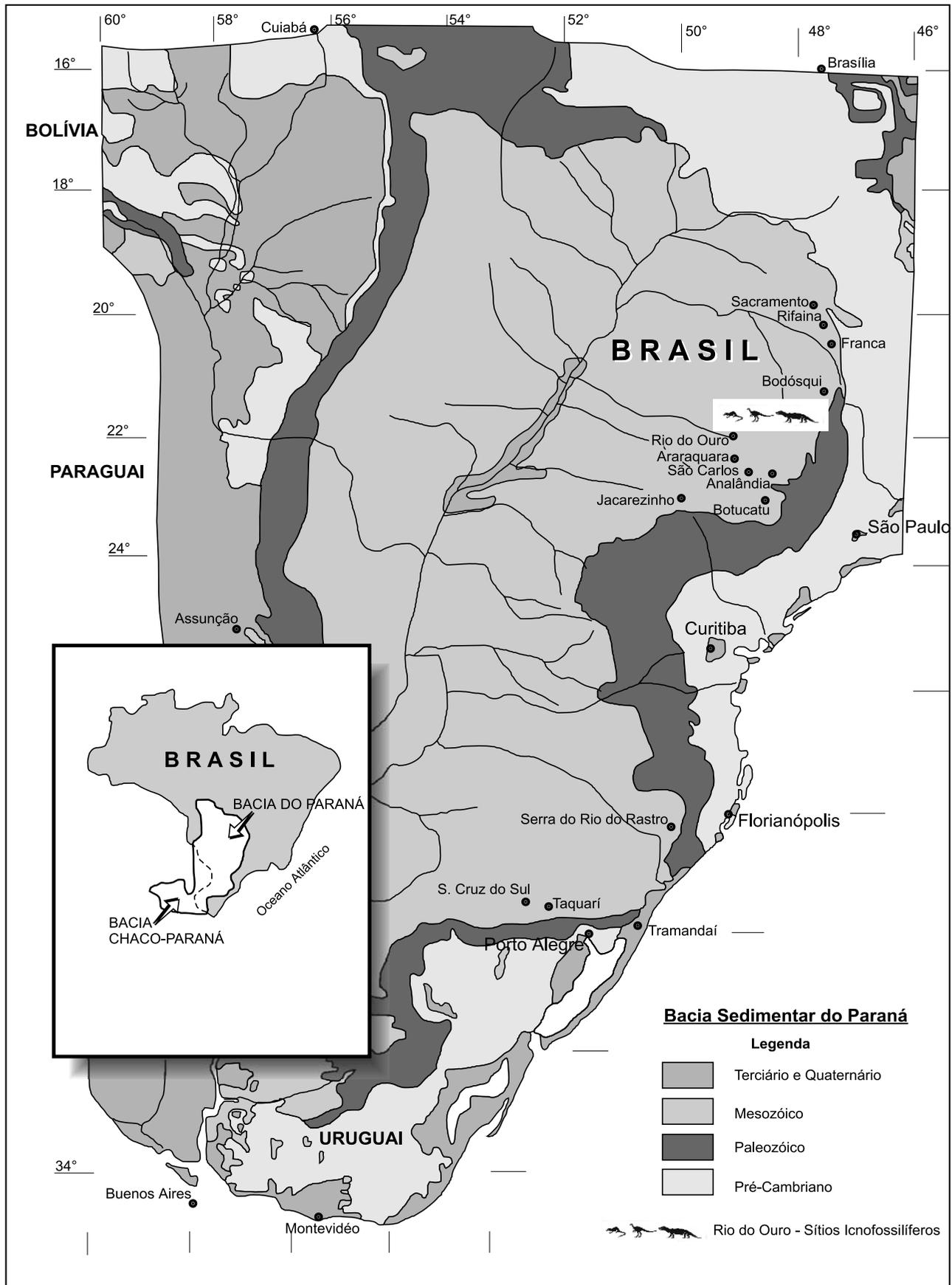
conhecida com precisão. A razão estava no ambiente de deposição: um deserto interior, quente e seco, onde não se preservaram animais, vegetais ou mesmo polens que possibilitassem as datações. Há apenas uma datação radiométrica (120-140 M.a.) em derrames basálticos da Formação Serra Geral os quais capeiam a Formação Botucatu.

A análise icnológica apresentada por Leonardi & Oliveira (1990) postulou que a Formação Botucatu, pelo menos em afloramentos do Estado de São Paulo, e particularmente na região de Araraquara, poderia ser considerada como depositada entre o Rético e o Jurássico Médio, com grande probabilidade de encontrar-se no intervalo temporal Jurássico Inferior - seção inferior do Jurássico Médio.

## HISTÓRICO

Em 1911, o engenheiro de minas brasileiro Joviano Pacheco descobriu a primeira laje de arenito da Formação Botucatu com uma pista de tetrápode. Tratava-se de uma laje de pavimentação de uma calçada da cidade de São Carlos, 39 km à SW de Araraquara, de onde a grande maioria deve ser originária. Este material foi então depositado por Pacheco, juntamente com algumas lajes com pistas de invertebrados, no Museu da Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo, atualmente designada como Instituto Geológico de São Paulo. Ao que tudo indica trata-se da primeira pista de tetrápode descoberta e coletada na América do Sul. Entretanto, somente muito tempo depois foi publicada por Friedrich von Huene (1931).

Logo após sua chegada ao Brasil Leonardi iniciou a identificação da origem da laje descoberta por Pacheco. Em julho de 1976, no município de Araraquara, região do Ouro, descobriu uma abundante e variada icnofauna composta principalmente por pistas de vertebrados e secundariamente de invertebrados, nas pedreiras anteriormente referidas da região, então ativamente exploradas. Também nas calçadas da cidade de Araraquara estas foram encontradas em profusão (Leonardi, 1980). Estas descobertas têm similaridades petrográficas e icnológicas com o material depositado no Instituto Geológico. Outras expedições de Leonardi se seguiram (11 ao todo, cf. Leonardi, 1994, p. 169), através de financiamentos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Entre 1976 e 1986 exposições naturais, pedreiras e pavimentações das cidades através da região leste de distribuição da Formação Botucatu, na Bacia do Paraná, desde Minas Gerais (norte) até o Rio Grande do Sul (sul) foram exploradas por Leonardi e colaboradores,



**Figura 1** - Mapa geológico da Bacia do Paraná e área de distribuição da Formação Botucatu (modificado de Mapa Geológico da Bacia do Paraná, 1981).

**Figure 1** - Geological map of Paraná Basin and distribution area of Botucatu Formation (modified from Mapa Geológico da Bacia do Paraná, 1981).

tendo sido dada especial atenção ao estado de São Paulo. A coleta de material fóssil foi em profusão: pistas de vertebrados foram descobertas em cinco estados brasileiros: Sacramento (Minas Gerais); Rifaina, Franca, Brodósqui, Analândia, São Carlos, Botucatu e Araraquara (São Paulo); Jacarezinho (Paraná); Serra do Rio do Rasto (Santa Catarina); Taquari, Tramandaí e Santa Cruz do Sul (Rio Grande do Sul) um cinturão de 2.500 km de extensão (Leonardi, 1977, 1981a-b, 1989; Leonardi & Sarjeant, 1986; Leonardi & Godoy, 1980). Posteriormente, dois novos sítios foram descobertos por Leonardi na porção oeste da bacia do Paraná, em Murtinho (Mato Grosso) e Asunción (Paraguai) (Leonardi, 1992, 1994).

Desde a primeira visita em 1976, Leonardi percebeu que a exposição mais importante de rochas da Formação Botucatu com pegadas fósseis, não se encontrava em nenhuma pedreira ou exposição natural, mas sim nas calçadas de Araraquara. Esta é uma cidade agrícola e industrial localizada próximo ao centro geográfico do estado de São Paulo. Aqui estão mais de 300 quilômetros lineares de calçadas, pavimentação de pátios e de caminhos para pedestres construídas com lajes de arenitos avermelhados. Tal é a frequência de pistas de tetrápodes que num percurso médio de 100 metros (com 2,5 metros de largura) pode-se encontrar entre 5 a 10 pistas ou pegadas isoladas, num grande “bonanza” para todos os paleoicnólogos! Apesar de qualquer paleontólogo preferir encontrar obviamente seus achados *in situ*, o fato de todas as lajes serem oriundas de uma área restrita de afloramentos, sua origem é conhecida com acurácia suficiente para a maioria dos propósitos práticos. Todas as pedreiras de onde provieram as lajes de arenitos (com exceção da pedreira Chibarro) estão numa área de 0,75 km<sup>2</sup>. Em muitos casos, a cor, a consistência da laje e a natureza de suas estruturas sedimentares são suficientes para identificá-las com precisão (Leonardi & Sarjeant, 1986).

Entre 1976 e 1983, todas as calçadas e outras superfícies pavimentadas numa extensão de 308 km, ou 0,77 km<sup>2</sup> - foram pesquisadas por Leonardi, em uma ocasião auxiliado por um grupo de alunos da Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Paraná (Curitiba). Alguns milhares de pistas foram registradas, muitas cadastradas, fotografadas, medidas e desenhadas. Destas, cerca de 60 pistas ou pegadas isoladas eram de tal qualidade que justificavam atenção especial. Após duas tentativas infrutíferas de convencer dois prefeitos (de mandatos consecutivos) de

Araraquara sobre a importância científica das lajes encontradas nas calçadas de Araraquara, a Câmara Municipal em 1983 autorizou uma rara expedição urbana paleoicnológica - substituindo 60 lajes com pistas selecionadas, por outras sem icnofósseis. Paralelamente, a exploração da Pedreira São Bento (Corpedras) foi acompanhada por Leonardi. Ao todo mais de 200 lajes exibindo pegadas fósseis foram coletadas das calçadas urbanas e pedreiras, para repositório no Museu Nacional do Rio de Janeiro (Universidade Federal do Rio de Janeiro), coleção paleontológica do Departamento Nacional de Produção Mineral (Rio de Janeiro) e Universidade Federal do Paraná (Curitiba).

Muitas lajes com pistas de tetrápodes foram produzidas quase que certamente nas pedreiras da região do Ouro - Araraquara, tais como as encontradas em pavimentações urbanas de cidades vizinhas dentro do estado de São Paulo, incluindo a capital do estado, como por exemplo nos pavimentos ao redor do aeroporto de Congonhas e Zoológico.

Atualmente há prospecção e coleta de novas lajes, as quais vêm sendo depositadas nas coleções da Universidade Estadual Paulista (UNESP - Rio Claro) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (Deptº de Geologia).

## **O JAZIGO ICNOFOSSILÍFERO DO OURO**

As pistas de tetrápodes das pedreiras da região do Ouro (e de calçadas da cidade de Araraquara) são quase sempre (90-95%) de baixa qualidade, sendo simplesmente cavidades arredondadas ou elípticas (convexidade nos contra-moldes) quase sem detalhes morfológicos. Caracteristicamente estas cavidades são acompanhadas de uma crista de arenito em forma de meia-lua, quase sempre na direção do mergulho dos estratos. Representariam assim um deslocamento de areia pelos pés dos animais, quando em progressão através das dunas. Entretanto, os parâmetros de tais pistas frequentemente possibilitam classificá-las, apesar da baixa qualidade de preservação. Além disso, a classificação é normalmente dificultada devido a baixa qualidade do material e pelas incertezas de idade dos depósitos em que são encontrados. Há falta de outros fósseis associados e ocorre endemismo da icnofauna. Identificações mais precisas e melhores descrições dependem necessariamente dos espécimens melhores, sendo que com base nestes devem-se analisar os dados icnológicos das pistas de qualidade inferior.

Atualmente a icnofauna do Ouro abrange (Figuras 2,3) :

- a) 8 formas dinossauróides, todas bípedes, digitígradas e tridáctilas, com elevado ângulo de passo (até superior a 180°). Estas pistas são relativamente raras. Este grupo inclui dois ou três formas de dinossauros relativamente grandes (no contexto de uma fauna desértica “aná”), com pegadas de 12 cm de comprimento e passo duplo de até 2 metros; alguns animais de porte médio, com passo duplo de 1-1,5 metros; e outros tipos menores. Uma pequena forma é tridáctila, mas frequentemente aparece como monodáctila numa andadura de corrida.
- b) Pelo menos 7 tipos teromorfóides que raramente são encontrados nas calçadas e muito raramente nas pedreiras. É difícil reconhecer os parâmetros das pistas (meio-passo, ângulo do passo etc.) devido a representarem geralmente pegadas isoladas. Pela morfologia das pegadas são atribuídas a animais quadrúpedes altamente especializados, com porte avançado. As pegadas são plantígradas e seu contorno aponta para almofadas arredondadas ou elípticas, com eixo transversal maior que o antero-posterior. Os dígitos são geralmente muito curtos, com provável fórmula falangeal 2-3-3-3-3 (osteológica ou funcional). As garras são parcialmente ou completamente separadas da palma ou sola e são algumas vezes modificadas em pequenos cascos. O passo duplo situa-se entre 15-50 cm. A pista é relativamente estreita para um animal quadrúpede e o ângulo do passo é superior a 160°.
- c) Pelo menos nove formas são definidas como mamalóides. Tal classificação baseia-se no porte avançado, forma dos autopódios (almofadas arredondadas ou elípticas, com eixo transversal maior que o antero-posterior, dígitos geralmente muito curtos, indicando uma provável fórmula falangeal de 2-3-3-3-3) além das pequenas dimensões. Quase todas estas formas parecem ser novas; algumas ao nível de icnogênero, outras ao nível de morfofamília. Este grupo inclui algumas pistas raras e interessantes com deslocamento por saltação e galope. Dentre estas pistas, a forma mais abundante foi

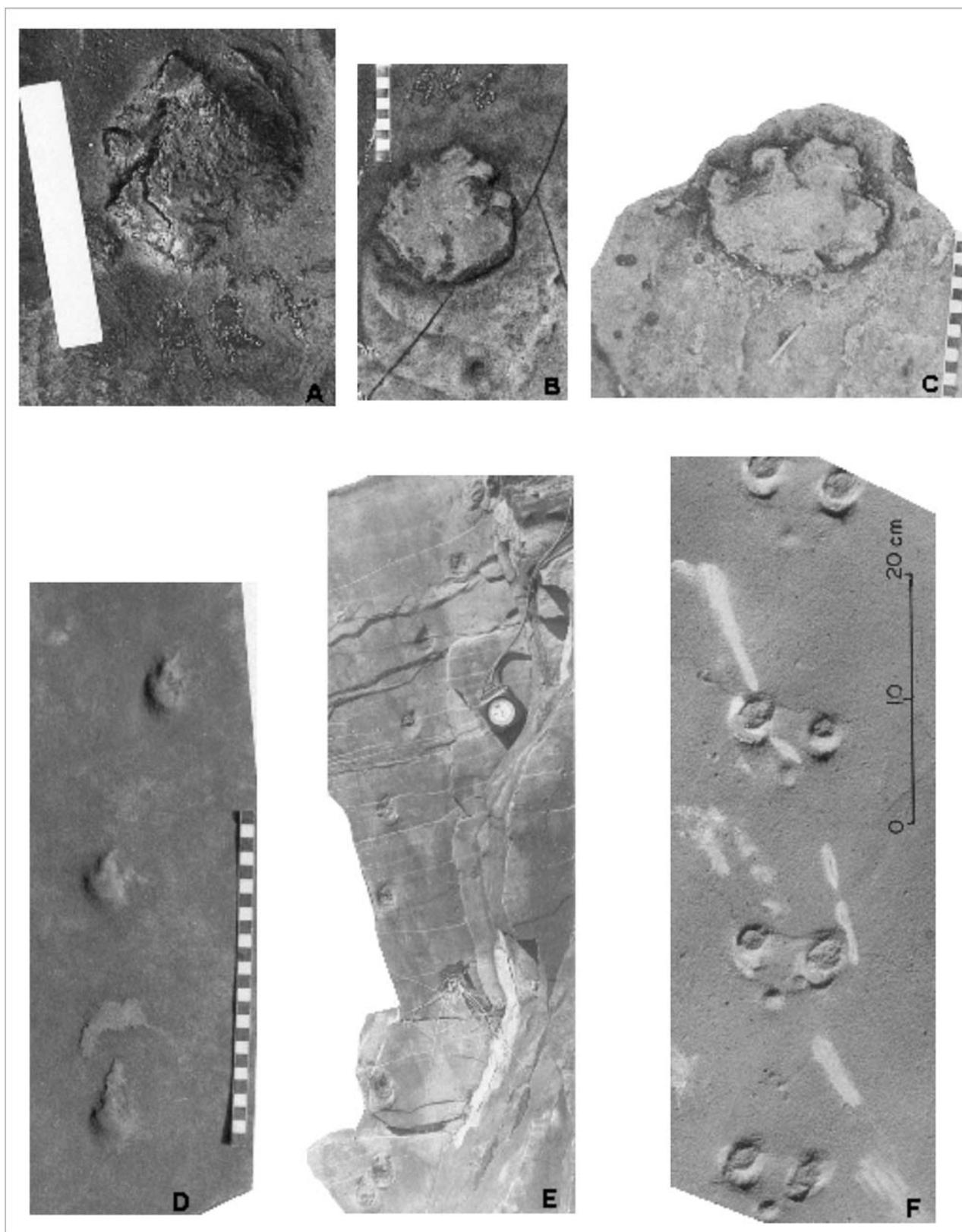
classificada como *Brasilichnium elusivum* Leonardi, 1981, a qual apresenta grande heteropodia, com um pé dianteiro bastante pequeno.

- d) 8 a 10 formas de pistas de invertebrados, atribuídas normalmente a artrópodes. As pistas de invertebrados são muito mais raras que as de tetrápodes.

A composição estatística da icnofauna do Ouro, numa amostragem inicial de 100 lajes é a seguinte: poucos indivíduos terápsidos, mas um grande número de formas (7,7% dos indivíduos e 29,2% das formas); um bom percentual de pistas dinossauróides, tanto indivíduos (27,9%) como formas (33,3%); percentagem de pistas mamalóides é alta em termos de indivíduos (64,4%), menos em variedade de formas (37,5%). Sessenta e três pistas e 14 formas são quadrúpedes; 41 pistas e 10 formas são bípedes. Nesta icnofauna, onde o número de pistas mamalóides indicam um deslocamento bípede saltador, o bipedalismo é pouco comum (39,4% dos indivíduos e 41,7% das formas). O andar rastejante está completamente ausente. A razão terápsidos/arcossauros é de 0,28; a razão mamíferoide/arcossauros é de 2,31; a razão terópsidos = (terápsidos + mamíferos)/arcossauros é 2,58. Os resultados são significativos; contudo, eles são provavelmente influenciados pela amostragem das lajes, em favor das pistas dinossauróides e teromorfóides que sendo mais raras, são coletadas freqüentemente, quando encontradas.

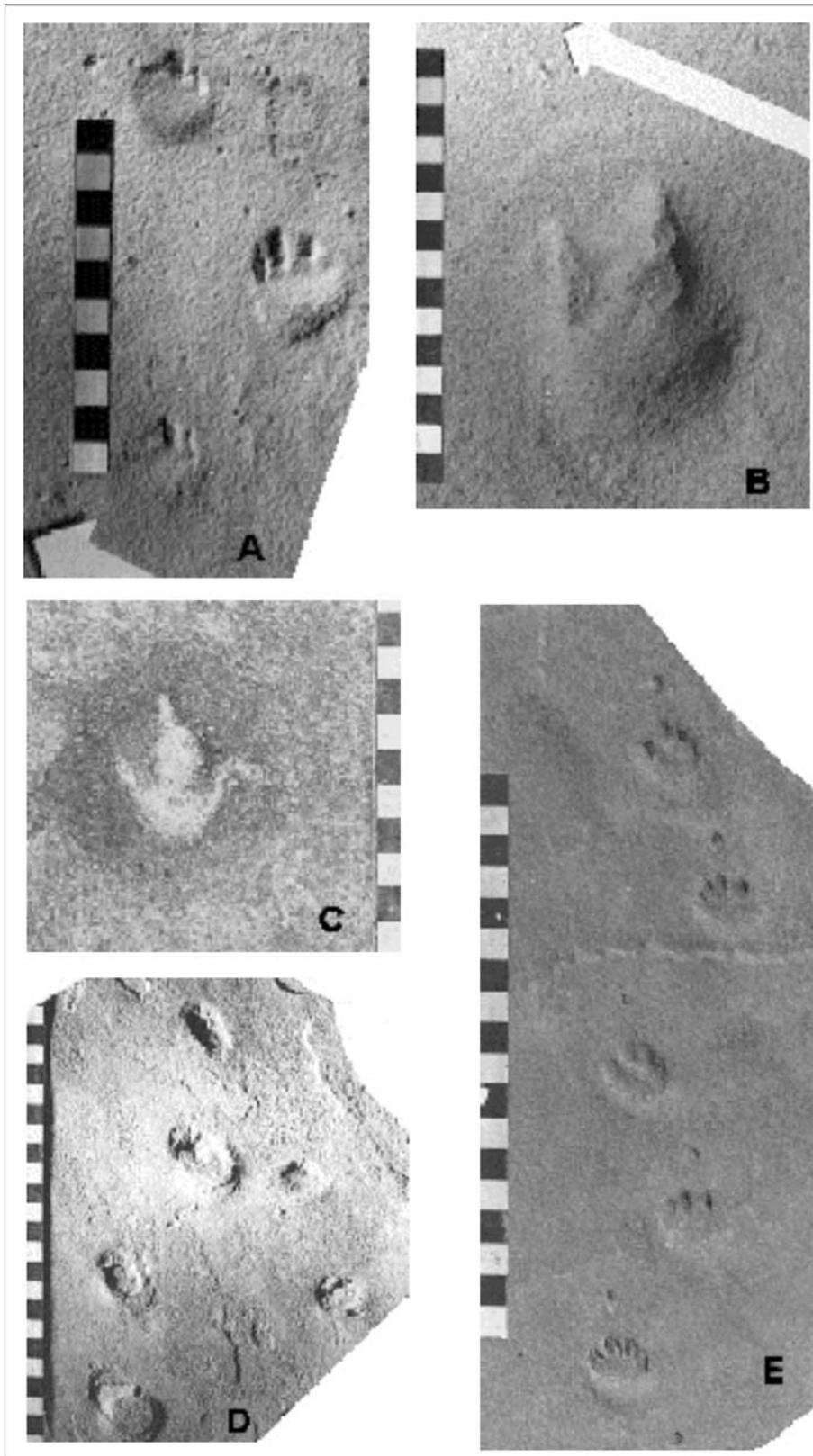
As pistas, no jazigo do Ouro e especialmente na pedreira de São Bento, dispõem-se em direções preferenciais. Em 76% das pistas examinadas, a direção encontra-se nos quadrantes 2 e 4. Como um todo, os animais atravessaram comumente (de maneira diagonal) uma grande duna transversa. Os motivos para explicar esta direção preferencial não são conhecidos no momento. Conjectualmente poder-se-ia pressupor que esta direção estaria relacionada à conexão de dois pontos d'água ou aósis.

A icnofauna parece ser totalmente endêmica. Este fator causa problemas nas classificação e interpretação das pistas, mas acrescenta muito para seu interesse. Como observado anteriormente, o ambiente foi muito árido, um deserto ou uma região semi-árida, sendo reconhecida a raridade das icnofaunas e faunas neste contexto ambiental. Infelizmente, um estudo completo e detalhado desta icnofauna ainda não foi publicado.



**Figura 2** - Pegadas fósseis da Formação Botucatu. (A),(B),(C) Pegadas teromorfoídes atribuídas à ? Tritylodontoidea. Lajes de arenito oriundas das calçadas de Araraquara, Estado de São Paulo; (D),(E) Pista de um pequeno terópode (? Coelurosaur). (D) Proveniente das calçadas de Araraquara e (E) da Pedreira Cerrito Velho, Araraquara; (F) Pista mamaloíde com deslocamento em galope. Pedreira São Bento, Araraquara.

**Figure 2** - Fossil footprints from Botucatu Formation. (A),(B),(C) Theromorphoid footprints attributed to ? Tritylodontoidea Flagstones from the sidewalks of Araraquara; (D),(E) Small theropod trackway (? coelurosaur) collected from the sidewalks of Araraquara (D) and (E) Cerrito Velho Quarry, Araraquara; (F) Mammaloid trackway with galloping gait. São Bento Quarry, Araraquara.



### OS PRODUTORES DAS PEGADAS

Pressupomos que a Formação Botucatu seja do Jurássico Inferior, de acordo com a assembléia icnofossilífera (Leonardi & Lima, 1990). Se esta idade for correta, então as pequenas e médias pegadas dinossauróides com garras nos dígitos podem ser provavelmente atribuídas a terópodes ceratossauros e as pegadas maiores de dinossauros, algumas com “cascos” nos dígitos, aos ornitópodes.

As pistas teromorfóides são atribuídas aos terapsídeos e, no caso de se confirmar a hipótese de idade liássica, aos Tritylodontoidea, o único grupo de terapsídeos conhecido após o fim do Triássico. As formas mamalóides provavelmente pertençam a mamíferos primitivos.

**Figura 3** - Pegadas fósseis da Formação Botucatu. (A) Provável pista teromorfóide (? Tritylodontoidea). Pedreira São Bento, Araraquara; (B) Pegada de ? Coelurosauria. Pedreira Cerrito Novo, Araraquara; (C) Pegada de um dinossauro bípede. Laje de arenito de uma calçada de Araraquara; (D),(E) Pistas de *Brasilichnium elusivum* relacionadas à mamíferos primitivos provenientes (D) da Pedreira São Bento, Araraquara e (E) Laje de arenito de uma calçada de Araraquara.

**Figure 3** - Fossil footprints from Botucatu Formation. (A) Probable theromorphoid track (? Tritylodontoidea) from São Bento Quarry, Araraquara; (B) ? Coelurosauria footprint, Cerrito Novo Quarry, Araraquara; (C) Bipedal dinosaur track. Flagstone from the sidewalks of Araraquara; (D), (E) *Brasilichnium elusivum* trackways referred to early mammals. (D) São Bento Quarry, Araraquara; (E) Flagstone from the sidewalks of Araraquara.

## OUTROS JAZIGOS ICNOFOSSILÍFEROS DA FORMAÇÃO BOTUCATU

Vários outros sítios icnofossilíferos análogos ao jazido do Ouro foram descobertos, em uma faixa de 2.500 km onde afloram arenitos da Formação Botucatu na região leste da bacia do Paraná e mais raramente na borda oeste. Os sítios são os seguintes:

---

### Borda Leste da Bacia do Paraná

SÍTIO	MATERIAL
<i>a Sacramento (Minas Gerais)</i>	- lajes de arenitos em calçadas; tetrápodes indeterminados.
<i>b Frutal (Minas Gerais)</i>	- lajes de arenitos em calçadas; tetrápodes indeterminados.
<i>c Rifaina (São Paulo)</i>	- lajes de arenitos em calçadas; pegadas isoladas e pistas teromorfoídes e dinossauróides.
<i>d Franca (São Paulo)</i>	- lajes de arenitos em calçadas; pegadas isoladas e pistas teromorfoídes e dinossauróides; provavelmente procedem das pedreiras de Brodósqui.
<i>e Brodósqui (São Paulo)</i>	- pegadas isoladas e pistas dos tipos teromorfoíde e dinossauróide.
<i>f São Carlos (São Paulo)</i>	- em pedreira, pista curta atribuída a um mamífero ou a um teriodonte. Pistas em algumas calçadas e como revestimento dos pilares da Catedral de São Carlos. Foram provavelmente oriundas das pedreiras de Araraquara.
<i>g Analândia (São Paulo)</i>	- algumas pistas do tipo mamalóide, uma das quais com andamento em "ricochet".
<i>h Rio Claro (São Paulo)</i>	- lajes de arenitos em algumas calçadas; tetrápodes indeterminados.
<i>i Serra do Botucatu (São Paulo)</i>	- duas pegadas isoladas, de tamanho relativamente grande, talvez produzidas por ornitópodes.
<i>j Jacarezinho (Paraná)</i>	- pistas de tetrápodes indeterminados em arenitos encontradas em outras cidades do estado do Paraná foram produzidas em pedreiras da cidade de Jacarezinho.
<i>k Ponta Grossa e Curitiba (Paraná)</i>	- lajes de arenitos em algumas calçadas; tetrápodes indeterminados. Os arenitos são provavelmente oriundos das pedreiras de Jacarezinho.
<i>l Serra do Rio do Rasto (Santa Catarina)</i>	- registro de uma pista de tetrápode; não analisada.
<i>m Taquari (Rio Grande do Sul)</i>	- registro de pistas de tetrápodes; não analisada.
<i>n Santa Cruz do Sul (Rio Grande do Sul)</i>	- uma pegada isolada de terópode em uma laje de calçamento na cidade.

### Borda Oeste da Bacia do Paraná

<i>a) Asunción (Paraguai)</i>	- arenitos nas calçadas da cidade; terópodes e tritilodontes. Formação Misiones, provavelmente do Jurássico Inferior.
<i>b) Murtinho (Mato Grosso do Sul)</i>	- lajes de pavimentação nas plataformas da estação ferroviária. Tetrápodes indeterminados

---

## **PISTAS DE INVERTEBRADOS**

selecionadas pelos operários da Corpedras (Sítio do Ouro) e enviadas então para universidades.

As lajes de arenito com pegadas fósseis que pavimentam as calçadas da cidade de São Carlos (estado de São Paulo) vêm sendo catalogadas por Marconato & Bertini (1999) objetivando o uso educacional dos icnofósseis de maneira integrada ao cotidiano da população são-carlense. As calçadas com pegadas fósseis funcionariam como um museu a céu aberto, possibilitando inclusive de futuro sua utilização em projetos de turismo regional.

## **PROTEÇÃO**

### **AGRADECIMENTOS**

Tim Halley do Departamento de Zoologia da Universidade de Queensland (Brisbane, Austrália) pela revisão crítica e Professora Maria Rita Caetano-Chang (Universidade Estadual Paulista - UNESP/Rio Claro, Brasil) pela cessão de material bibliográfico. À família Grosso (CORPEDRAS) por sua colaboração.