



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**TRAÇOS FÓSSEIS DA SUCESSÃO TURBIDÍTICA DA REGIÃO DE IBIRACATU,  
MINAS GERAIS**

**Maria Laura Couto Costa**

**MONOGRAFIA nº 404**

Ouro Preto, agosto de 2021



**TRAÇOS FÓSSEIS DA SUCESSÃO TURBIDÍTICA DA  
REGIÃO DE IBIRACATU, MINAS GERAIS**

---





## **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

### **Reitora**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Aparecida Marlière de Lima

### **Vice-Reitor**

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

### **Pró-Reitora de Graduação**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Rossi Garbin

### **ESCOLA DE MINAS**

#### *Diretor*

Prof. Dr. Issamu Endo

#### *Vice-Diretor*

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

### **DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

#### *Chefe*

Prof. Me. Edison Tazava



**MONOGRAFIA**

**Nº 404**

**TRAÇOS FÓSSEIS DA SUCESSÃO TURBIDÍTICA DA REGIÃO  
DE IBIRACATU, MINAS GERAIS**

**Maria Laura Couto Costa**

*Orientador*

**Prof. Dr. Isaac Daniel Rudnitzki**

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2020/2.

**OURO PRETO**

**2021**

---

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>  
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>  
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>  
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita  
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais  
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do  
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

<http://www.sisbin.ufop.br>

## **SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO**

C837t Costa, Maria Laura Couto.

Traços fósseis da sucessão turbidítica da região de Ibiracatu, Minas Gerais. [manuscrito] / Maria Laura Couto Costa. - 2021.  
79 f.: il.: color., tab., mapa. (Série: 404)

Orientador: Prof. Dr. Isaac Daniel Rudnitzki.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Paleontologia. 2. Icnofósseis - Cruziana. 3. Rochas sedimentares - Turbidito. I. Rudnitzki, Isaac Daniel . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 56.02

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

# Ficha de Aprovação

---

## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO: TRAÇOS FÓSSEIS DA SUCESSÃO TURBIDÍTICA DA REGIÃO DE IBIRACATU, MINAS GERAIS**

**AUTOR:** Maria Laura Couto Costa

**ORIENTADOR:** Isaac Daniel Rudnitzki

**Aprovado em:** 20/08/2021

### BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Isaac Daniel Rudnitzki \_\_\_\_\_ *Isaac D Rudnitzki* DEGEO/UFOP

Profa. Dra Raquel Franco Cassino \_\_\_\_\_ *Raquel F. Cassino* DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Filipe Giovanini Varejão \_\_\_\_\_ *Filipe Giovanini Varejão* DEGEO/UFOP

**Ouro Preto, 20/08/2021**



## Agradecimentos

---

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me guiado, me dado força e saúde para superar as dificuldades impostas pela pandemia da COVID 19.

Agradeço a minha família por todo amor, companheirismo, e por terem se dedicado para transformarem meus sonhos em realidade.

Aos meus amigos que me incentivaram e compreenderam minha ausência enquanto me dedicava à realização deste trabalho, além de me ajudarem a manter a confiança e alegria, especialmente a geogalera do 16.1, as meninas da República Rosa Xoque, a “família tourinho”, Rafael Magno, Gabriel Galdino, Pâmela Tito e Caio Crelier.

Ao meu namorado, Caio Zamora, que compartilhou comigo esse momento, por ter sido tão parceiro e paciente o tempo todo, e pelo suporte imenso.

Ao meu orientador Isaac Rudnitzki pela confiança ao tema e pelas orientações neste trabalho e na minha vida acadêmica ao longo desses anos. Agradeço também à CPRM, funcionários e colegas de estágio, por possibilitar a execução desse trabalho científico, além todo o material fornecido e apoio durante minha jornada na empresa.

E a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para a conclusão desta pesquisa.



## SUMÁRIO

---

Agradecimentos .....	ix
SUMÁRIO .....	xi
INDÍCE DE FIGURAS .....	xiii
INDÍCE DE TABELAS .....	xv
Resumo .....	xvii
Abstract .....	xix
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO .....	1
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.4 JUSTIFICATIVA .....	2
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS .....	3
1.5.1 Amostragem .....	3
1.5.2 Revisão bibliográfica .....	4
1.5.3 Descrição das amostras .....	4
<b>1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....</b>	<b>7</b>
2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO.....	7
2.1.1 O Cráton São Francisco .....	7
2.1.2 A Bacia São Francisco .....	7
2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO .....	9
2.2.1 Grupo Bambuí .....	10
2.2.2 Grupo Santa Fé.....	13
2.2.3 Grupo Areado.....	14
<b>3 ICNOLOGIA.....</b>	<b>15</b>
3.1 ICNOLOGIA.....	15
3.1.1 Classificação .....	16
3.1.2 Nomenclatura .....	17
3.1.3 Icnofácies e icnocenose.....	18
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>21</b>
4.1 ASPECTOS GERAIS DA EXPOSIÇÃO DE IBIRACATU - MG.....	21
4.2 TRAÇOS FÓSSEIS .....	23
4.4 ICNOFÓSSEIS DE AFINIDADE DESCONHECIDA .....	32
4.5 OCORRÊNCIA FOSSILÍFERA .....	35
<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>39</b>
5.1 ICNOFÁCIES .....	39

5.2 SIGNIFICADO PALEOAMBIENTAL – ICNOFÓSSEIS X FÁCIES SEDIMENTARES.....	41
5.3 SIGNIFICADO ESTRATIGRÁFICO .....	42
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>53</b>

## INDÍCE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.1:</b> Mapa de localização e geológico simplificado da área de estudo, região de Ibiracatu (MG).....	2
<b>Figura 1.2:</b> Imagem de 6 amostras com os exemplares mais representativos observados neste trabalho. ....	5
<b>Figura 2.1:</b> Localização da área de estudo no contexto geológico do cráton do São Francisco e suas faixas marginais).....	8
<b>Figura 2.3:</b> Diagrama tempo versus espaço para a Megassequência São Francisco.....	10
<b>Figura 2.4:</b> Coluna estratigráfica do Grupo Bambuí da região de Januária a aproximadamente 27 km de Ibiracatu. ....	11
<b>Figura 3.1:</b> Esquema etológico atualizado para icnofósseis com base no comportamento de seus criadores.....	17
<b>Figura 3.2:</b> Distribuição das diversas icnofácies marinhas e não marinhas. ....	19
<b>Figura 4.1:</b> Perfil litoestratigráfico da sucessão de Ibiracatu. A) Perfil sedimentológico completo com os níveis de bioturbação;.....	22
<b>Figura 4.2:</b> Principais fácies sedimentares da sucessão de Ibiracatu. A) Aspecto geral exposição com ciclos granodecrescente ascendente (seta).....	23
<b>Figura 4.3:</b> Perfil litoestratigráfico com as principais estruturas observadas na sucessão turbidíticas de Ibiracatu. ....	23
<b>Figura 4.4:</b> Exemplar do membro Boacica da Formação Batinga FPH1594-I preservado em hiporrelevo convexo e epirrelevo côncavo.....	26
<b>Figura 4.5:</b> Icnogênero <i>Diplichnites</i> identificados na amostra 02.....	27
<b>Figura 4.6:</b> Pistas simples caracterizadas por sulcos isolados e alongados de comprimento aproximadamente igual.....	27
<b>Figura 4.7:</b> Icnogênero <i>Dimorphicnus</i> preservado em hiporrelevo com movimentação de desvio para direita.....	28
<b>Figura 4.8:</b> Exemplo esquemático do icnogênero <i>Dimorphicnus</i> gerado pelo comportamento de grazing sideways de artrópodes. ....	29

<b>Figura 4.9:</b> Exemplos do icnogênero <i>Sagittichnus</i> em hiporrelevo convexo.....	30
<b>Figura 4.10:</b> Aglomeração pequena de <i>Sagittichnus</i> em hiporrelevo convexo no exemplar IBGS PJ-M-025; 2.....	30
<b>Figura 4.11:</b> Exemplar do icnogênero <i>Gordia</i> preservado em hiporrelevo convexo. ....	31
<b>Figura 4.12:</b> Espécimes de <i>Gordia</i> no Membro Spence. 1. <i>Gordia marnia</i> em <i>Banffia sp.</i> Filme de carbono BST em hiporrelevo convexo e côncavo, IBGS LG-M-006; .....	31
<b>Figura 4.13:</b> Morfotipo I em bloco solto no afloramento preservado em hiporrelevo convexo .....	33
<b>Figura 4.14:</b> Morfotipo I em detalhe classificado como Icnogênero <i>Icertae sedis</i> . (Is.I) preservado em hiporrelevo convexo em bifurcação com o icnogênero <i>Aulichnites</i> (Au).....	33
<b>Figura 4.15:</b> Morfotipo II classificado como Icnogênero <i>Icertae sedis</i> . A) <i>Icertae sedis</i> . (Is.II). preservado em hiporrelevo convexo e icnogênero <i>Aulichnites</i> (Au) .....	34
<b>Figura 4.16:</b> Morfotipo III classificado como Icnogênero <i>Icertae sedis</i> (Is.III), preservado em hiporrelevo com presença dos icnogêneros <i>Aulichnites</i> (Au) e <i>Sagittichnus</i> (Sg).....	35
<b>Figura 4.17:</b> Molde externo da carapaça de uma trilobita identificado na amostra 07. Traço em relevo negativo com lobo direito apresentando melhor preservação. ....	36
<b>Figura 4.18:</b> Icnogênero <i>Rusophycus</i> em hiporrelevo encontrado na Formação Pimenteira da Bacia do Parnaíba no Piauí.....	37
<b>Figura 4.19:</b> Molde externo de um indivíduo inteiro MCTer 2807. ....	37
<b>Figura 5.1:</b> Diagrama esquemático das zonas oceânicas em relação a profundidade e suas respectivas icnofácies.. ....	39
<b>Figura 5.2:</b> Reconstrução esquemática de uma Icnofácies <i>Cruziana</i> generalizada representando os respectivos icnitos encontrados no município de Ibiracatu, Minas Gerais.....	40
<b>Figura 5.3:</b> (A) Modelo paleoambiental para ocorrência dos icnofósseis da sucessão de turbiditos marinhos de águas profundas da região de Ibiracatu. ....	42
<b>Figura 5.4:</b> Correlação da litoestratigrafia e geocronologia.....	44

## INDÍCE DE TABELAS

---

<b>Tabela 4.1:</b> Relação entre as amostras e icnofósseis encontrados.....	24
---	----



## Resumo

---

Recentemente, em campanhas de mapeamento realizadas no município de Ibiracatu, Estado de Minas Gerais, pela empresa de Serviços Geológicos do Brasil – CPRM, foram encontradas sucessões de depósitos de turbiditos pertencentes a Formação Serra da Saudade (Bacia do São Francisco - Grupo Bambuí), unidade composta essencialmente por rochas pelíticas com recente debate sobre sua idade Neoproterozoica ou Cambriana, contendo traços fósseis de organismos complexos como artrópodes e poliquetas, entretanto, estudos mais detalhados sobre a estratigrafia e assembleia de icnofósseis colocam os depósitos em uma posição estratigráfica incerta. A classificação taxonômica destes traços fósseis permitiu a identificação de oito icnogêneros, incluindo *Aulichnites* isp., *Diplichnites* isp., *Dimorphicnus* isp., *Sagittichnus* isp., *Gordia* isp., e de outros três ainda não identificados pela literatura. O molde externo de um trilobita ocorre associado, consistindo da primeira descrição deste fóssil no Estado de Minas Gerais. Os níveis de bioturbação ocorrem no topo dos arenitos e em alguns siltitos com índices de bioturbação variando de 2 a 3 caracterizando eventos deposicionais episódicos, que impediram o completo retrabalhamento do substrato, com alta taxa de sedimentação, representando ambiente com razoáveis níveis de oxigenação e índices de nutrientes que variam de moderado a alto. A assembleia icnofossilífera é representativa da Icnofácies *Cruziana*, relacionada a uma zona nerítica. As fácies sedimentares presentes se agrupam em ciclos granodecrescentes ascendentes que quando aparecem de forma completa, apresentam da base para o topo as seguintes fácies são: arenito grosso maciço; arenito grosso com turboglífos; arenito grosso com marcas de sola; arenito fino a médio com laminações cruzadas e marcas onduladas assimétricas; arenito fino a grosso com laminação plano paralela; margas esverdeada; siltito laminado, sugerindo que a sucessão estudada é o registro de depósitos marinhos associados a fluxos gravitacionais como turbiditos. Apesar da posição estratigráfica incerta, o estudo dos icnofósseis e das fácies sedimentares permitiram estabelecer uma possível correlação dos icnofósseis com três formações pertencentes aos grupos Bambuí e Santa Fé, sendo elas as formações Serra da Saudade, Três Marias e Floresta. Entretanto com as limitações de afloramento, número de amostras e pelo fato de se tratar de trabalho pioneiro na área, não foi possível identificar a qual unidade litoestratigráfica pertencem os traços fósseis aqui identificados.

**Palavras chave:** Icnofósseis, Turbiditos, Cruziana



## Abstract

---

Recently, in mapping campaigns carried out in Ibiracatu, state of Minas Gerais, by the Geological Services Company of Brazil – CPRM, successions of turbidite deposits belonging to the Serra da Saudade Formation (São Francisco Basin - Bambuí Group) were found, unit composed essentially of pelitic rocks with recent debate about its Neoproterozoic or Cambrian age, containing fossil traces of complex organisms such as arthropods and polychaetes, however, more detailed studies on the stratigraphy and assemblage of trace fossils place the deposits in an uncertain stratigraphic position. The taxonomic classification of these trace fossils allowed the identification of eight ichnogenera, including *Aulichnites* isp., *Diplichnites* isp., *Dimorphichnus* isp., *Sagittichnus* isp., *Gordia* isp., and three others not yet identified in the literature. The external mold of a trilobite is associated, consisting of the first description of this fossil in the State of Minas Gerais. Bioturbation levels occur on top of the sandstones and in some siltstones with bioturbation indices ranging from 2 to 3 characterizing episodic depositional events, which prevented the complete reworking of the substrate, with a high sedimentation rate, representing an environment with reasonable levels of oxygenation and indices of nutrients ranging from moderate to high. The ichnofossiliferous assemblage is representative of the Ichnofacies Cruziana, related to a neritic zone. The sedimentary facies present are grouped in ascending grano-descending cycles that when they appear in complete form, present from the base to the top the following facies are: sandstone; coarse sandstone with turboglyphs; coarse sandstone with sole marks; fine to medium sandstone with cross laminations and asymmetrical ripple marks; fine to coarse sandstone with parallel flat lamination; greenish loam; laminated siltstone, suggesting that the studied succession is the record of marine deposits associated with gravitational fluxes such as turbidites. Despite the uncertain stratigraphic position, the study of trace fossils and sedimentary facies allowed establishing a possible correlation of trace fossils with three formations belonging to the Bambuí and Santa Fé groups, namely the Serra da Saudades, Três Marias and Floresta formations. However, with the limitations of outcrop, number of samples and the fact that this is a pioneer work in the area, it was not possible to identify to which lithostratigraphic unit the trace fossils identified here belong.

**Keywords:** Ichnofossils, Turbidites, Cruziana







### 1.1 APRESENTAÇÃO

O Norte de Minas Gerais tem sido alvo de estudos em múltiplas áreas da Geologia nos últimos anos. Além das pesquisas focadas na exploração mineral, o setor Agropecuário e Hidrogeológico é também amplamente estudado. Diversos projetos foram criados a fim de mapear a região para melhoria do conhecimento da Geologia básica, e consequentemente inúmeras descobertas foram feitas.

Recentemente, em campanhas de mapeamento realizadas no município de Ibiracatu, pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM no âmbito do projeto “Estudos para a implementação da gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas na Bacia Hidrográfica do São Francisco: Sub-Bacias dos Rios Verde Grande e Carinhonha”, foram encontradas sucessões sedimentares contendo traços fósseis. Esta região foi mapeada revelando a presença dos grupos Bambuí e Areado (Cretáceo), e o ponto de coleta das amostras tem sido mapeado como Formação Serra da Saudade (Grupo Bambuí, Bacia do São Francisco), unidade com recente debate sobre sua provável idade de deposição (Ediacarano ou Cambriano) (Moreira *et al.* 2020) (Figura 1.1).

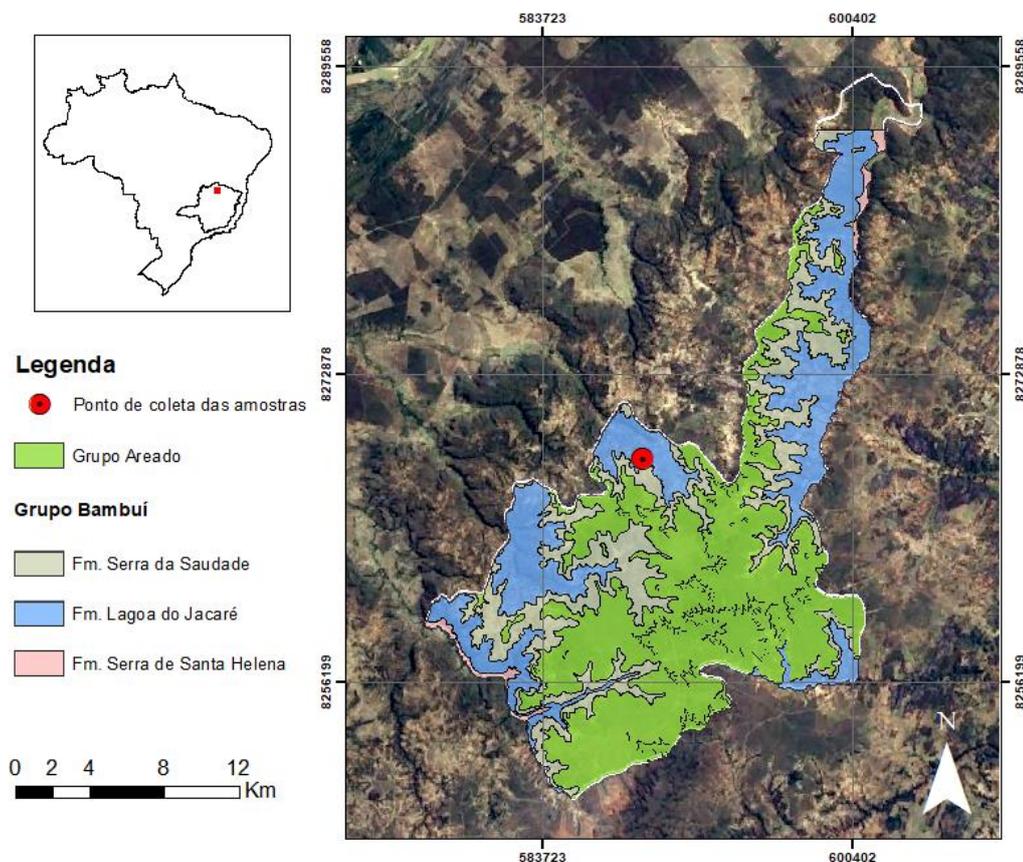
Uma idade ediacarana foi recentemente estabelecida para a porção basal do Grupo Bambuí devido à descoberta do fóssil guia *Cloudina* (Warren *et al.*, 2014). Além destes fósseis, também foram descritos icnofósseis típicos (*Treptichnus pedum*) do Cambriano, encontrados na Formação Três Marias (Baptista 2020, Sanchez *et al.* 2020). A descoberta do *Treptichnus pedum* estabelece um limite superior para uma delimitação da idade da Formação Santa Fé.

### 1.2 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo encontra na região do extremo norte de Minas Gerais, tendo como local de coleta de amostras o município de Ibiracatu (Figura 1.1). O município tem aproximadamente 300 km<sup>2</sup> e é encontrado na folha São João da Ponte – SD.23-Z-C-V na escala 1:100.000, elaborada pela CODEMIG (2015). O ponto de coleta das amostras trabalhadas se encontra próximo a entrada do município, com coordenadas, 44°10'06.41”W e 15°39'40.17” S.

A região estudada está a cerca de 670 km de Ouro Preto e o acesso é realizado a partir da BR-135 em direção à Belo Horizonte, devendo-se entrar na BR-251 (Rodovia Júlio Garcia), em direção à Almenara, onde se segue para norte até a cidade de Montes Claros. Posteriormente, toma-se a estrada

MG-403, passando por Varzelândia, seguindo por estradas vicinais que interligam as localidades, distritos, vilas e fazendas da região, completando o sistema viário da região.



**Figura 1.1:** Mapa de localização e geológico simplificado da área de estudo, região de Ibiracatu (MG).

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi classificar os traços fósseis encontrados em depósitos sedimentares no município de Ibiracatu, Minas Gerais, e verificar qual o seu significado paleoambiental e estratigráfico dentro do contexto das unidades da Bacia do São Francisco.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Estudo de traços fósseis são raros tanto nas sucessões Paleozoicas como Neoproterozoicas, justamente pela dificuldade da preservação dos mesmos. Traços fósseis são reconhecidos no Grupo Santa Fé, Bacia Sanfranciscana, apesar de não serem bons indicadores de idades, serviram como

parâmetro que permitiu o posicionamento cronoestratigráfico da unidade no Permo-Carbonífero (Campos & Darnedenne 1994). A raridade na descrição de traços fósseis nestas bacias pode ser explicada principalmente pelo baixo potencial de preservação da Bacia, que tem fatores condicionantes como regimes climáticos extremos. Por muitas décadas, os estudos paleontológicos realizados no Grupo Bambuí, Bacia do São Francisco, focaram na presença de microestruturas de possível origem microbiana, preservadas em carbonatos e dolomitos (Cassedanne 1965). Recentemente, traços fósseis como escavações sinuosas e retas, com seções transversais circulares e elípticas (*Palaeophycus* isp. e *Planolites* isp.) e traços bilobados bem preservados (*Archaeonassa* isp.), foram descritos na porção basal da Formação Sete Lagoas (Warren *et al.* 2014). Estes icnofósseis foram descritos poucos metros acima dos fósseis ediacaranos *Corumbella weneri* e *Cloudina* sp. (Warren *et al.* 2014). Fósseis de bilateriomorfos ediacarianos (*Eremolinea yacarei* n. gen. n. sp. e *Jaibella verdegrandensis* n. gen. n. sp.) foram também relatados em calcários da Formação Lagoa do Jacaré (Baptista *et al.* 2020). Além destes, foram também descritos *Treptichnus pedum* (Seilacher 1995) e Estruturas Sedimentares Microbialmente Induzidas (ESMI) na Formação Três Marias, sugerindo idade cambriana para o topo do Grupo Bambuí (Sanchez *et al.* 2020).

Na região do município de Ibiracatu, afloram as formações Serra da Saudade e Lagoa do Jacaré (Grupo Bambuí), unidades do Neoproterozoico, além do Grupo Areado, unidade do Cretáceo. Todavia, campanhas de mapeamento efetuadas pela CPRM, registraram sucessões turbidíticas associadas a traços fósseis que até o momento não descritos no Grupo Bambuí. As presenças destas estruturas singulares podem ser determinantes na definição da idade dessa unidade, que até então são interpretados como depositados no final do Neoproterozoico. Além disso, idades recentes adquiridas em tufos vulcânicos da Formação Serra da Saudade, incluem a unidade no Cambriano (520 Ma  $\pm$  5,3 Ma) (Moreira *et al.* 2020), o que abre novas perspectivas para ocorrência de traços fósseis complexos. Dessa forma, o presente trabalho é justificado pela importância das descrições dos novos traços fósseis, a fim identificar a origem, forma de preservação e impactos bioevolutivos a Bacia do São Francisco.

## 1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado conforme os itens descritos a seguir.

### 1.5.1 Amostragem

Foi realizada uma campanha de mapeamento pela empresa de Serviço Geológico do Brasil – CPRM, onde foram coletadas as amostras que foram analisadas neste trabalho. As amostras foram recolhidas pelos geólogos responsáveis pelo mapeamento da região e são oriundas de uma única sucessão. O perfil estratigráfico foi levantado pelo geólogo Lucas Balsini Garcindo, e disponibilizado

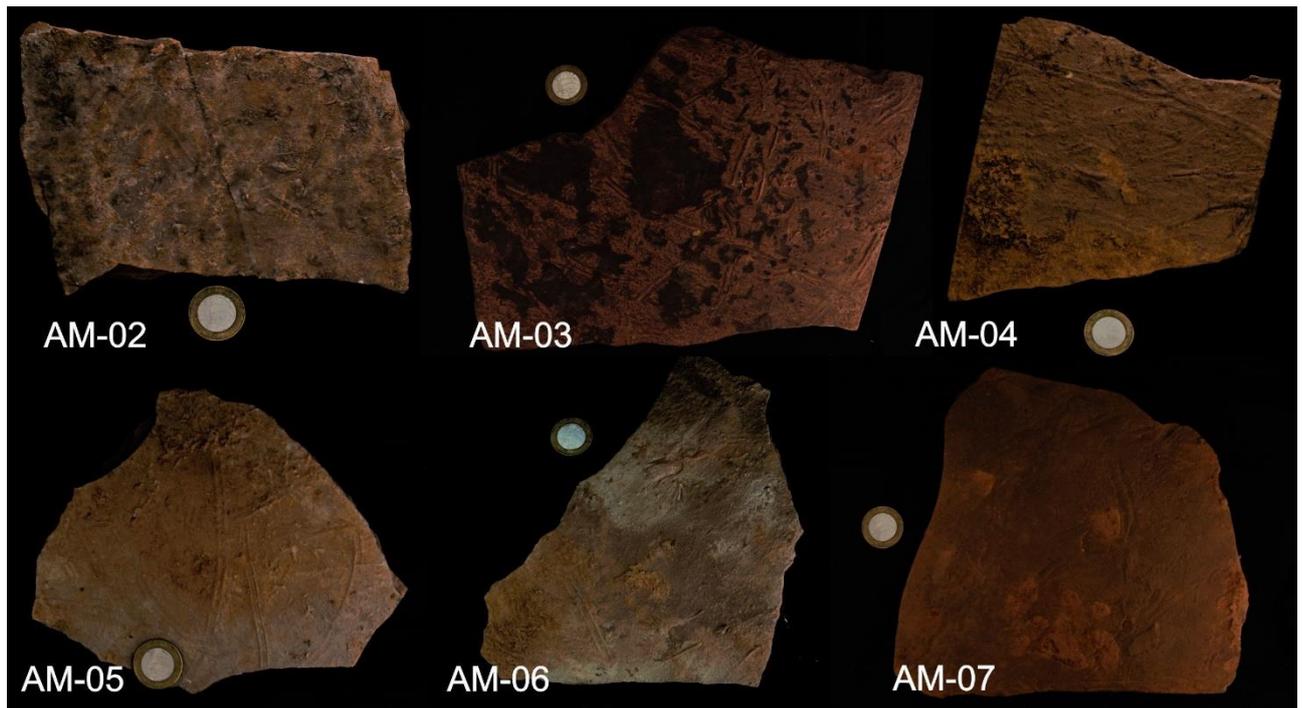
como rascunho para que fosse possível a digitalização e aprimoramento do mesmo. No total são sete amostras com traços fósseis bem preservados, coletadas ao longo da seção bem como em blocos rolados.

### **1.5.2 Revisão bibliográfica**

Revisão bibliográfica de aspectos geológicos da área de estudos partiram de obras clássicas como Costa & Branco (1961), Campos & Dardenne (1994), Alkmim & Martins Neto (2001) e Iglesias & Uhlein (2009), além da consulta de trabalhos mais recentes. Além destes, teve-se como base importante de consulta bibliográfica o livro “Icnofósseis” de Ismar de Souza Carvalho e Antônio Carlos Sequeira Fernandes, bem como a leitura de textos e artigos relacionados à classificação e identificação de icnofósseis, buscando melhor entendimento dos métodos a serem aplicados durante a realização da pesquisa.

### **1.5.3 Descrição das amostras**

Sessão de fotos das amostras em fundo preto, utilizando-se de câmera Nikon D90 com objetiva 18-55mm, foi feita de modo a destacar as feições sedimentares e traços fósseis. Em seguida, as imagens foram tratadas no Photoshop a fim de ressaltar as estruturas presentes (Figura 1.2). Além disso, foram utilizadas as lupas do laboratório de Paleontologia da Universidade Federal de Ouro Preto, com aumento máximo de 40x. Esta metodologia foi utilizada a fim de ressaltar as estruturas para classificação taxonômica. A classificação icnotaxonômica e etológica foi feita com base na descrição da morfologia dos traços e comparação com trabalhos competentes ao tema de icnofósseis, além da utilização do “Sistema de esboço para a identificação e descrição de rastros de artrópodes” de Trewin (1994) (Anexo 1). Para a quantificação da bioturbação dos sedimentos foi utilizado o diagrama de Taylor e Goldrig (1993) que estabelece seis índices de icnotramas, baseado no grau pelo qual as estruturas sedimentares foram afetadas pela retrabalhamento biogênico.



**Figura 1.2:** Imagem de seis amostras com os exemplares mais representativos observados neste trabalho.



## 2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

### 2.1.1 O Cráton São Francisco

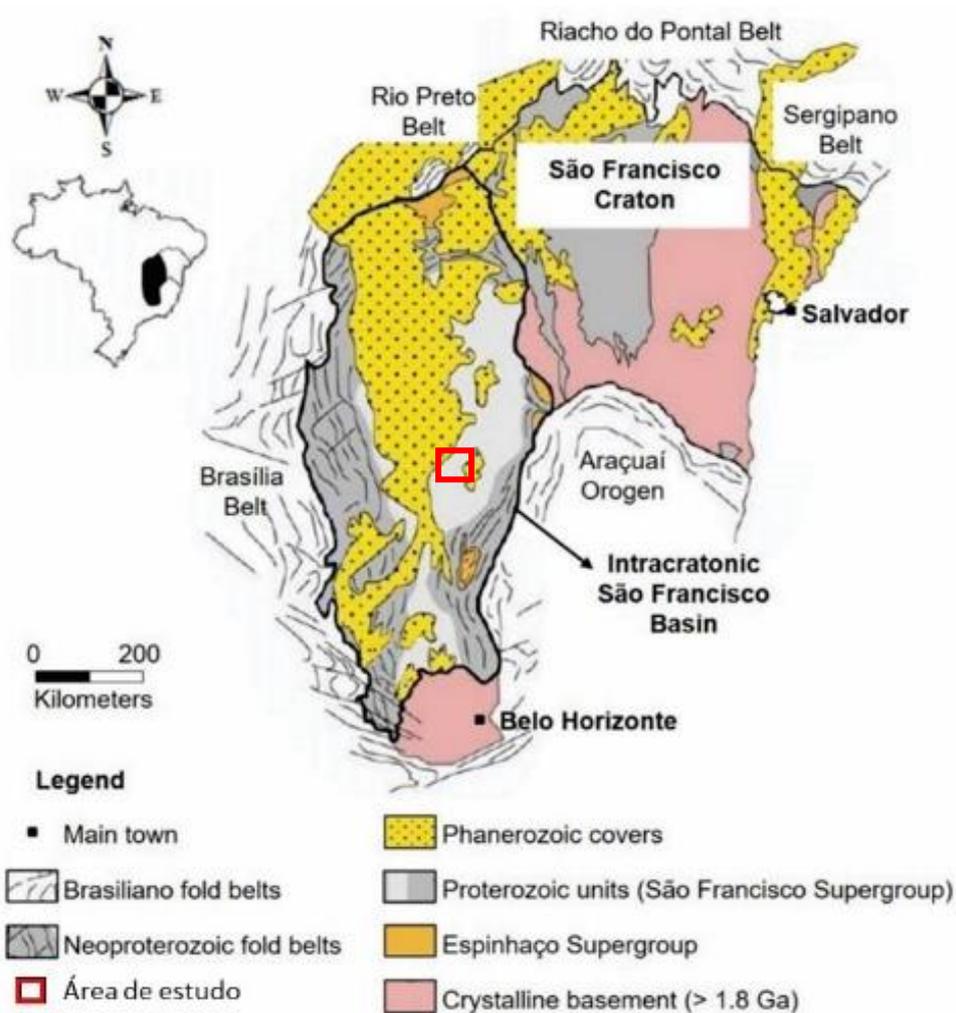
Inserido no “Escudo Brasileiro”, porção centro-leste da Plataforma Sul-Americana, o Cráton São Francisco (CSF) é uma região que se encontra tectonicamente estável desde o início do Fanerozoico, se mostrando relativamente preservado de deformações que ficam evidenciadas nos orógenos adjacentes (Alkmim 2004). A forma como fragmento único do CSF se deu pela separação do supercontinente Rodínia, que se formou a 1,0 Ga e se fragmentou a ~750 Ma, porém há autores que defendem não existiu essa relação, e corroboram com a ideia de que o Cráton atua como uma peça continental isolada (Brito Neves *et al.* 1999; Campos Neto 2000).

O embasamento do CSF é caracterizado por rochas arqueanas e paleoproterozoicas mais antigas que 1,8 Ga. A cobertura cratônica é composta por sucessão meso a neoproterozoica, que engloba os supergrupos Espinhaço e São Francisco, e outra fanerozoica (Alkmim 2004). A área de estudo está distribuída sobre a região sudeste da Bacia do São Francisco e Sanfranciscana na porção meridional do Cráton São Francisco (Figura 2.1).

### 2.1.2 A Bacia São Francisco

A Bacia São Francisco (BSF) é uma bacia intracratônica pouco deformada, com aproximadamente 350.000 km<sup>2</sup>, abrangendo os estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás. A BSF está limitada a oeste pela Faixa Brasília, a leste pela Faixa Araçuaí, a norte pela Faixa Rio Preto, e a sul pelo contato com as rochas do embasamento Arqueano/ Paleoproterozoico (Alkmim & Martins-Neto 2001; Zalán & Romeiro-Silva 2007; Alkmim 2018).

Segundo Zalán & Romeiro-Silva (2007), a BSF é formada por diversas supersequências com ampla distribuição temporal, incluindo: (1) Supersequência Rifte, constituída pelo Supergrupo Espinhaço e Grupo Araí; (2) Supersequência Intracratônica/Antepaís, contendo os grupos Macaúbas, Paranoá e Bambuí, e (3) Supersequência Sanfranciscana, formada pelos grupos Santa Fé, Areado e Urucuia.



**Figura 2.1:** Localização da área de estudo no contexto geológico do CSF e faixas móveis associadas (Modificado de Alkmim & Martins Neto 2001; Alkmim 2004)

## 2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO

A área investigada abrange rochas sedimentares pertencentes aos grupos Bambuí e Areado. Porém serão tratados com maior detalhamento apenas os grupos Bambuí e Santa Fé, por conta dos interesses em relação a estas unidades. Os grupos Areado e Santa Fé fazem parte das superseqüências da Bacia Sanfranciscana (Figura 2.2), enquanto o Grupo Bambuí ainda é posicionado no topo da BSF (Figura 2.3).

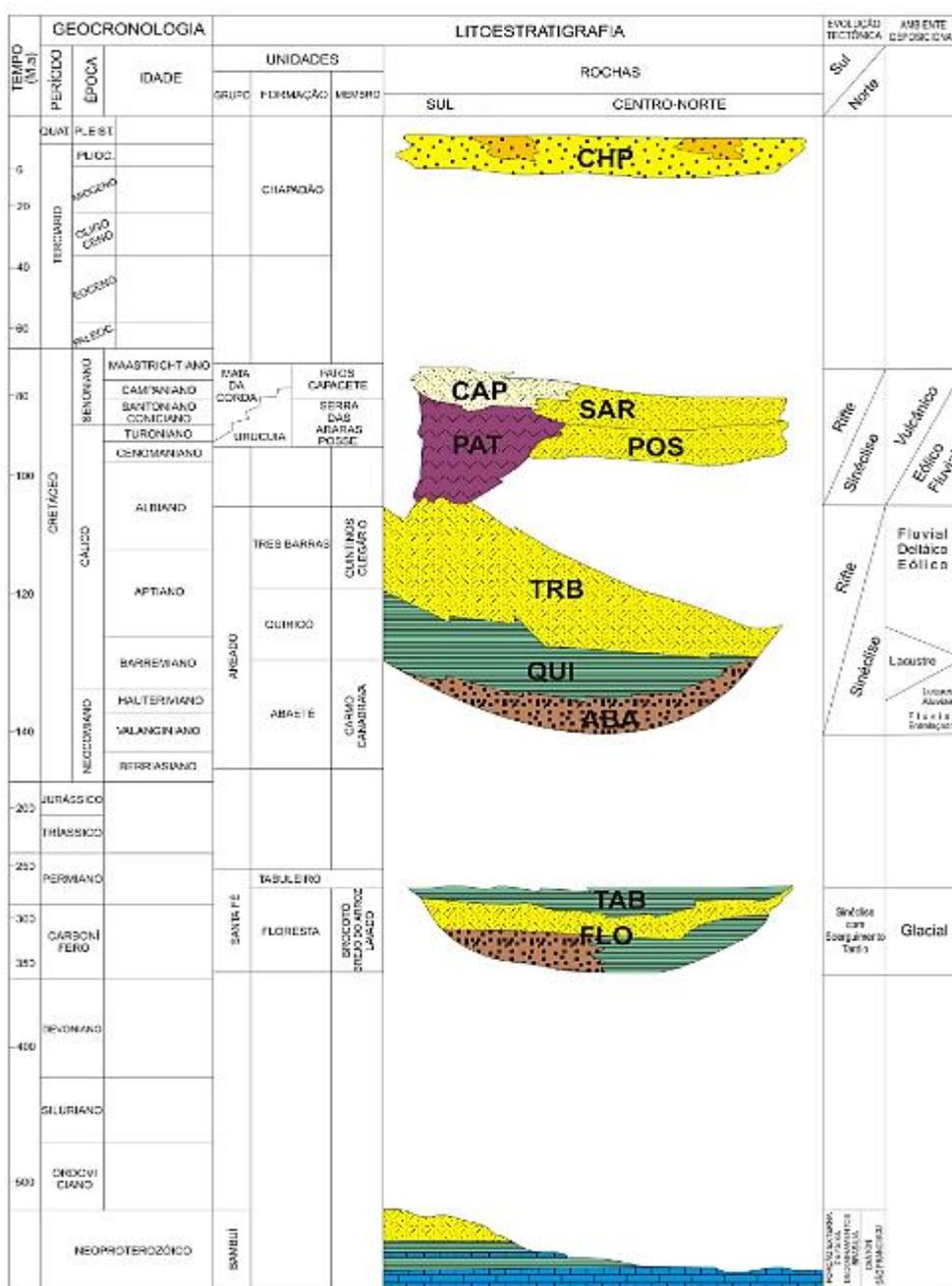
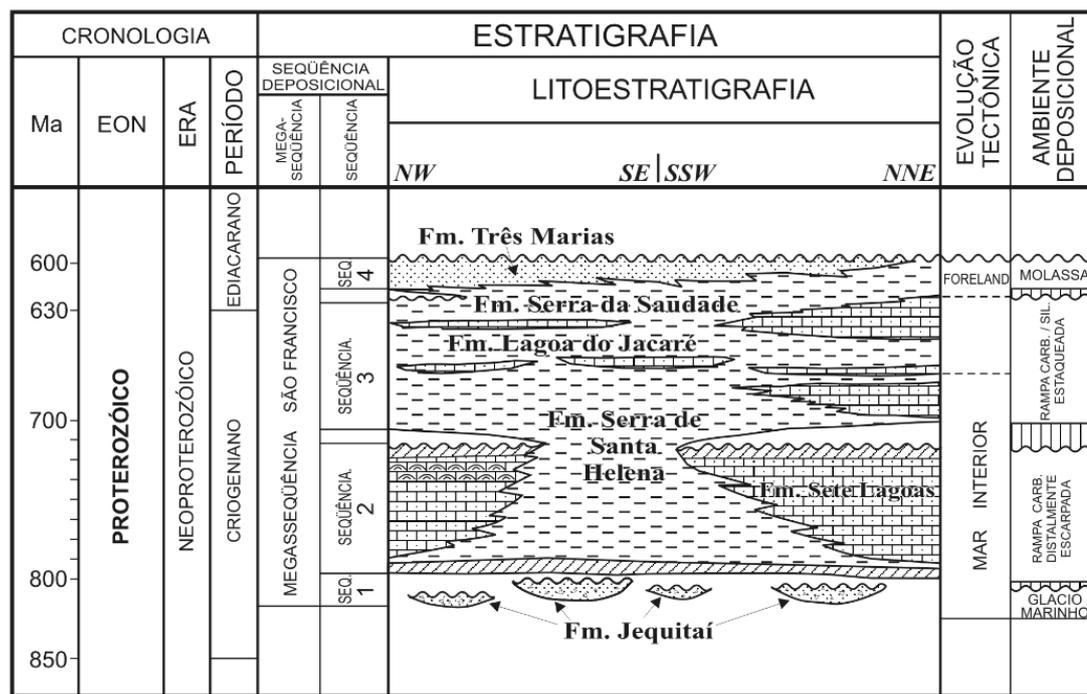


Figura 2.2: Carta Cronoestratigráfica da Bacia Sanfranciscana. Modificado Campos & Dardenne (1997) in Frago (2011).



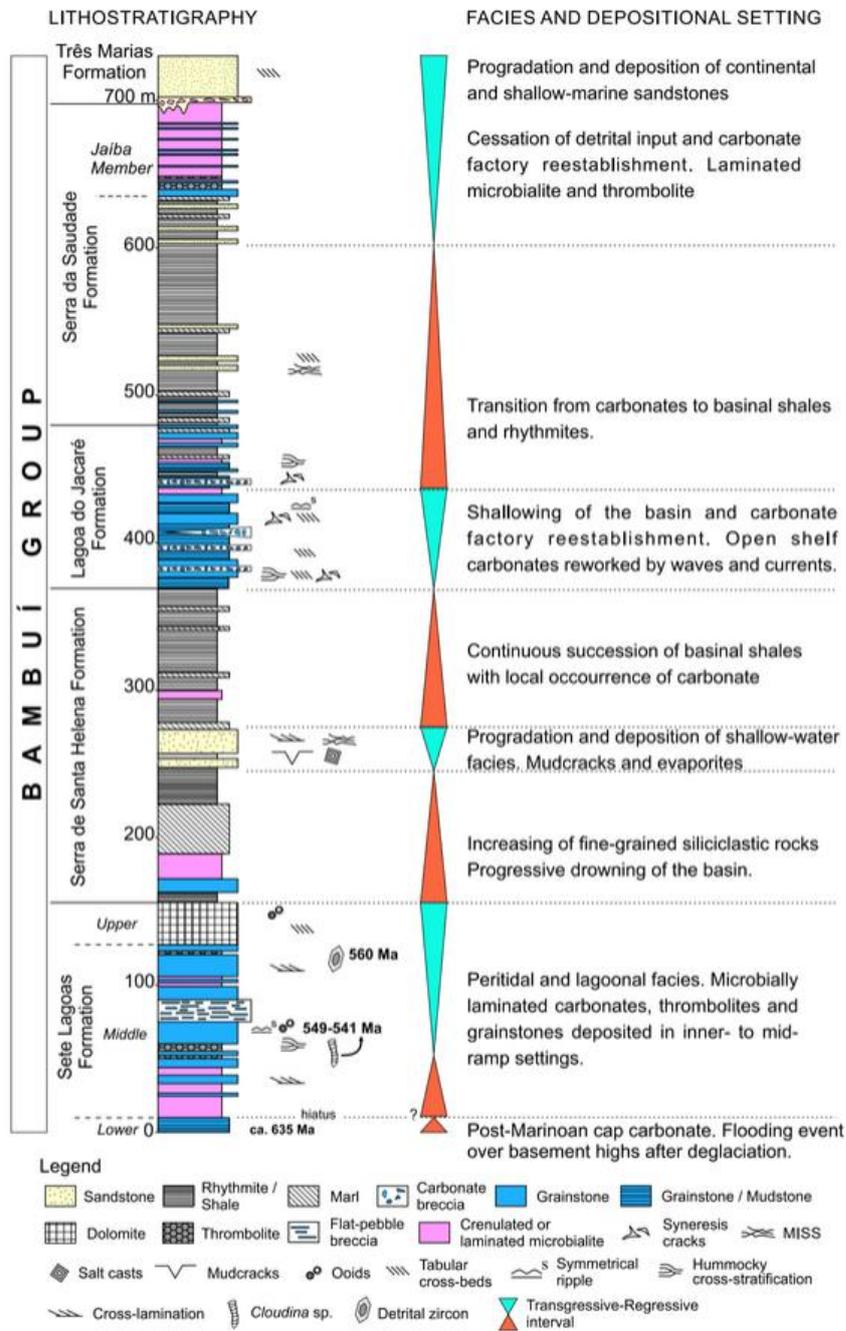
**Figura 3.3:** Diagrama tempo versus espaço para a Megassequência São Francisco (Martins & Lemos 2007).

### 2.2.1 Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí, é composto por rochas pelítico-carbonáticas (Dardenne 1978), divididos nas formações Jequitai, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias. Em estudo feito na região norte de Minas Gerais, Iglesias & Uhlein (2009) usando como base da dissertação de mestrado de Iglesias (2007), dividiram o Grupo Bambuí em duas sucessões principais, sendo a basal de origem marinha, composta, da base para o topo, pelas formações Jequitai (glaciogênica), Sete Lagoas (carbonática), Serra de Santa Helena (pelito carbonática), Lagoa do Jacaré (carbonática) e Serra da Saudade (pelítica), e a sucessão do topo, representada pela Formação Três Marias (psamítica), depositada em ambiente marinho-continental. Recentemente novas unidades vem sido reconhecidas, como as formações Sambura (conglomerados e siltitos), Lagoa Formosa (diamictitos, conglomerados e siltitos), Jaíba (carbonatos) e Gorotuba (arenitos e conglomerados) (Kuchenbecker 2014, Reis *et al.* 2017). Entretanto, estas não serão discutidas no presente trabalho.

A sucessão siliciclástica-carbonática do Grupo Bambuí está associada com o preenchimento de bacia de antepaís, relacionada ao cinturão de dobras e falhas de cavalgamento da Faixa Brasília (Chiavegatto 1992; Alkmim *et al.* 2001; Chiavegatto *et al.* 2003; Tavares *et al.* 2020). Ao final do Neoproterozoico passou a ser alimentada não só pela Faixa Brasília, mas como também pela Faixa Araçuaí (Chiavegatto 1992; Alkmim *et al.* 2001; Chiavegatto *et al.* 2003; Tavares *et al.* 2020). O Grupo

Bambuú é classificado como sequência estratigráfica de primeira ordem, ocupando a porção superior da BSF (Reis *et al.* 2017).



**Figura 2.4:** Coluna estratigráfica do Grupo Bambuí da região de Januária a aproximadamente 27 km de Ibiracatu. Fonte: Uhlein *et al.* 2019

### *Formação Jequitaí*

A Formação Jequitaí, definida por Costa & Branco (1961), é a unidade basal do Grupo Bambuí, composta essencialmente por psefitos e pelitos depositados em ambiente glacial (Dardenne 1978). Autores como Vieira *et al.* (2007) e Tuller *et al.* (2010) sugerem deposição em ambiente aluvial, contudo essas questões ainda não foram supridas pela limitada caracterização geológica da formação.

### *Formação Sete Lagoas*

A Formação Sete Lagoas (Costa & Branco 1961) é composta por sucessão carbonática depositada em ambiente marinho raso, durante importante fase de transgressão marinha em regime tectônico extensivo (Alkmim & Martins-neto 2001). Essa sucessão de calcários e dolomitos pode ser individualizada em sete litofácies que variam de calcários argilosos bem estratificados, a brechas intraformacionais lamelares, dolomitos e diamictitos (Alkmim & Martins-neto 2001; Iglesias & Uhlein 2009).

### *Formação Serra de Santa Helena*

A Formação Serra de Santa Helena (Costa & Branco 1961) ocorre em contato concordante e gradacional com a Formação Sete Lagoas, e é composta por sucessão de rochas sedimentares pelíticas. A gradação é marcada pelo aumento na quantidade de pelitos nos carbonatos de topo representantes da Formação Sete Lagoas que é resultado do afogamento da plataforma carbonática, seguido da deposição em ambiente marinho plataformar, que por vezes sofria a influência de ondas (Alkmim & Martins-neto 2001; Iglesias & Uhlein 2009).

### *Formação Lagoa do Jacaré*

A Formação Lagoa do Jacaré (Costa & Branco, 1961), é constituída por metassiltitos, brechas intraclásticas, margas, intercalações de siltitos e folhelhos de cor esverdeada, e calcários pretos a cinzas. Estas fácies ocorrem em contato gradacional com a Formação Serra de Santa Helena, e concordante e transicional com a subsequente, Formação Serra da Saudade. Sua deposição representa nova fase de instalação de plataformas carbonáticas de variada energia, caracterizadas por episódios de calmaria e alta atividade. Alguns fósseis, como microbialitos, ocorrem em *grainstones* finos caracterizados por marcas de ondulações, tapetes microbiais e trombólitos, na porção média da formação. Traços fósseis simples, não ramificados, também estão associados à trombólitos e *grainstones* finos (Iglesias & Uhlein 2009; Warren *et al.* 2014).

### *Formação Serra da Saudade*

A Formação Serra da Saudade (Costa & Branco 1961) é composta principalmente por siltitos argilosos nas cores cinza a cinza-esverdeado, e ocorre sobre a formação Lagoa do Jacaré em contato concordante e gradacional (Dardenne 1978). Sua deposição representa uma rápida transgressão marinha que conseqüentemente mudou as condições anteriores e proporcionou evolução ambiental marcada por um ambiente mais profundo e de águas calmas (Alkmim & Martins Neto 2001; Iglesias & Uhlein 2009).

### *Formação Três Marias*

A Formação Três Marias (Costa & Branco 1961) é a unidade de topo do Grupo Bambuí. A base da formação é constituída essencialmente arcoseos e arenitos, enquanto a porção superior é constituída por sucessão de até 100 m de espessura de arenitos arcoseanos com intercalações pelíticas. A unidade foi depositada em plataforma rasa alimentada por fontes provindas da Faixa Brasília a noroeste, e da Faixa Araçuai a oeste. O contato com a unidade subjacente pode ser abrupto, erosivo ou gradacional (Inglesia & Uhlein 2009; Chiavegatto 1992; Tavares et al. 2020).

## **2.2.2 Grupo Santa Fé**

Na Bacia Sanfranciscana, a transição entre os períodos Carbonífero e Permiano registra importante glaciação gonduânica, representada pelo Grupo Santa Fé. O grupo representa a unidade fanerozoica mais antiga conhecida na BSF e é subdividido nas formações Floresta e Tabuleiro (Campos & Dardenne 1994).

A presença de sítios icnofossilíferos foi essencial na datação da unidade, mesmo que traços fósseis não se caracterizem por serem bons datadores de idade, os que foram encontrados no grupo são característicos do Paleozóico Superior e permitem a correlação da sucessão glaciogênica com o evento glacial gonduânico. Estes traços fósseis caracterizam trilhas marcadas em siltitos e folhelhos, identificadas como *Isopodichnus isp.* e *Diplichnites isp.* (Campos & Dardenne, 2000).

A unidade registra período glacial em condições temperadas, consistindo em arenitos e diamictitos com mudanças laterais abruptas e pavimentos estriados com fraturas em crescente (Dardenne *et al.* 1991). Segundo Alkmim & Martins-Neto (2001) a subsidência responsável pela acomodação do grupo está relacionada a movimentos verticais dos orógenos Brasília e Araçuai.

### *Formação Floresta*

A Formação Floresta é dividida nos membros Brocotó, Brejo do Arroz e Lavado, com contatos laterais transicionais. O Membro Brocotó é caracterizado por diamictitos avermelhados mal

selecionados, em contato direto com embasamento, interpretados como tilitos. O membro Brejo do Arroz é composto por folhelhos avermelhados bem laminados eventualmente com clastos caídos (*drop stones*) e intercalações de arenitos e siltitos que apresentam estruturas sedimentares bem preservadas como marcas onduladas, laminações cruzadas, estratificações plano-paralelas e laminações cruzadas cavalgantes. O membro Lavado representa o maior volume de rochas da Formação Floresta e é constituído por arenitos avermelhados, cimentados por calcita, seguido de diamictitos que apresentam clastos que sofreram retrabalhamento, diamictitos e conglomerados intraformacionais (Campos & Dardenne 2000).

### *Formação Tabuleiro*

A Formação Tabuleiro recobre os membros da Formação Floresta, apresentando distribuição mais ampla, além de ocorrer diretamente sobre o Grupo Bambuí. A formação é constituída por arenitos médios, vermelhos, rosados, brancos e maciços, ocasionalmente intercalados com níveis argilosos caracterizados por um adelgaçamento lateral, e argilitos na base. Os arenitos e argilitos são dispostos em camadas plano-paralelas com raras estratificações cruzadas (Campos & Dardenne 2000).

### **2.2.3 Grupo Areado**

O Grupo Areado (Eocretáceo), é constituído pelas formações Abaeté (ortoconglomerados), Quiricó (folhelhos e siltitos com intercalações de arenito estratificados) e Três Barras (arenitos estratificados). É a unidade com maior número de fácies e variação lateral da Bacia Sanfranciscana, além de apresentar grande interesse paleontológico. O grupo é composto essencialmente por arenitos de granulação fina a média de cor bege e vermelha, e ocasionalmente por arenitos brancos argilosos com intercalações de rochas vulcânicas de cor verde e matacões silicificados. O contato basal da unidade apresenta uma discordância erosiva e angular, que ocorre diretamente com as rochas das formações Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade (Costa & Grossi Sad 1968; Campos & Dardenne 1997).

#### 3.1 ICNOLOGIA

O icnofóssil é o produto da interação de um organismo com o substrato, gerando estrutura física com relação mais ou menos direta com a morfologia do seu produtor. A icnologia é o ramo da Paleontologia que estuda os traços produzidos por organismos dentro ou sobre o substrato. O estudo do icnofóssil ou traço fóssil, geralmente permite inferir sobre o comportamento dos organismos, bem como sobre a profundidade de escavação, batimetria, energia do meio, consistência e coercividade do substrato, taxa de oxigenação e sedimentação do ambiente, além de ter um papel importante como marcadores estratigráficos (Hasiotis *et al.* 2002).

A preservação de traços fósseis envolve diversas condições específicas que garantem a conservação de suas formas e estruturas, como a concentração diagenética de minerais, ou até mesmo a “limpeza” proporcionada por correntes turbidíticas de fundo marinho. Porém o estilo de preservação depende de aspectos sedimentológicos, como a granulação, grau de compactação do substrato, e a taxa de sedimentação (Hallam 1975).

A Icnologia conta com alguns princípios que se aplicam a todos os organismos que produzem traços fósseis. Atualmente se tem 14 princípios, no entanto são considerados básicos e gerais, portanto, deve-se tomar cuidado ao aplicá-los (Carvalho & Fernandes 2004). Alguns dos princípios mais relevantes são:

- 1) O mesmo indivíduo ou a mesma espécie pode produzir estruturas diferentes, correspondendo a diferentes comportamentos;
- 2) O mesmo indivíduo ou a mesma espécie pode produzir estruturas de traços diferentes, correspondendo para o mesmo comportamento em diferentes substratos;
- 3) Estruturas de traços idênticas podem ser produzidas pela atividade de diferentes organismos se o comportamento é semelhante;
- 4) Uma estrutura biogênica pode ser produzida por um, dois ou mais organismos diferentes, caso eles vivam juntos, ou de maneira sequencial na mesma estrutura.

### 3.1.1 Classificação

A Icnologia é pauta de grande discussão no meio acadêmico por tratar-se de um assunto que encontra ambiguidades nas diferentes classificações propostas pela academia. Os icnofósseis possuem três aspectos distintos e significativos, e cada um atribui uma classificação única na qual os estudos são feitos, podendo ou não se correlacionar.

#### *Classificação icnotaxonômica*

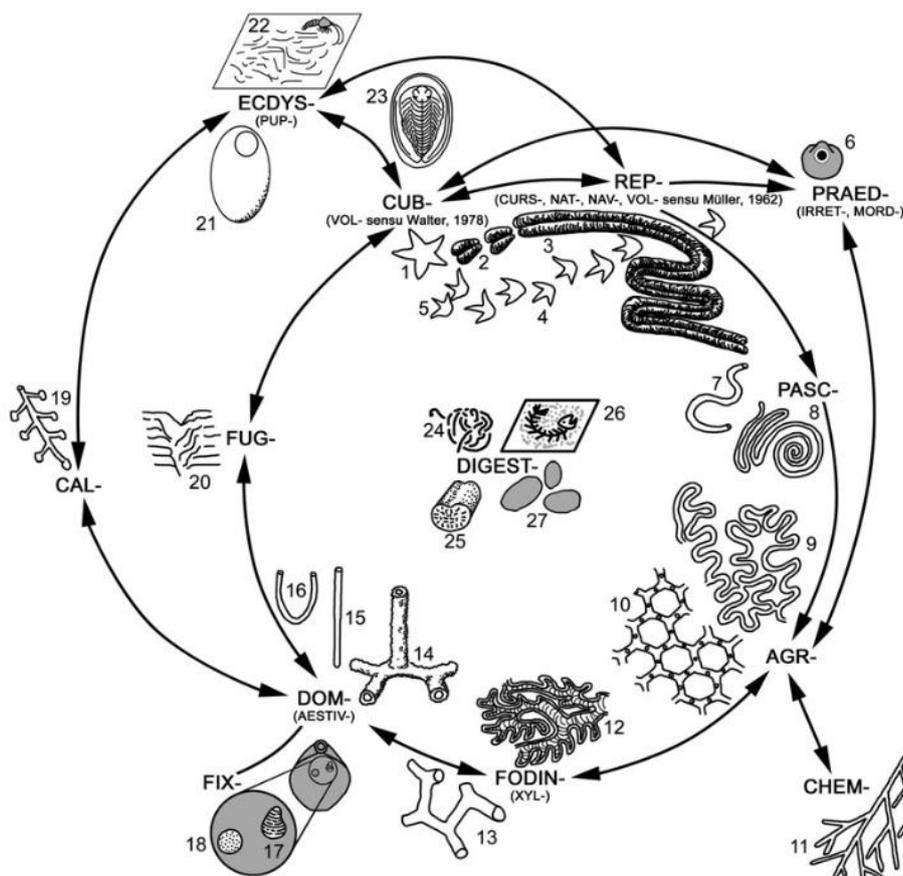
A classificação taxonômica de traços fósseis é binomial, definindo ichnogênero (ígen.) e icnoespécie (isp.) (Bertling *et al.* 2006). As características mais usadas como base da classificação são a forma geral, paredes e linhas, ramificação, preenchimento e *spreite* (Netto 2001; Carvalho & Fernandes 2004).

#### *Preservacional ou Estratinômica*

Também conhecida toponímia, essa classificação varia com o substrato que os traços fósseis estão inseridos e os considera como estruturas sedimentares, levando em consideração o seu posicionamento no substrato, sendo essencialmente relacionada a forma de preservação (Carvalho & Fernandes 2004). Martinsson (1970) classifica os traços fósseis como: epicniais (estão no topo da camada); endicniais, (dentro de uma ou mais camadas); hipicniais, (estão na base da camada); e exicniais, (fora da camada hospedeira). Já Seilacher (1964) leva em consideração o relevo resultado pelo traço fóssil, os subdividindo em traços em relevo cheio, epirelevo e hiporelevo (positivo ou negativo).

#### *Etológica*

Essa classificação é baseada no comportamento do organismo que deixou o traço fóssil no substrato. Costumava ser agrupada em categorias básicas, a qual era apresentada sob a forma de um diagrama circular cuja as inter-relações entre os icnofósseis e os fósseis corporais ficam divididas em cinco categorias (Seilacher 1964; Carvalho & Fernandes 2004). Entretanto, existem atualmente 13 grupos etológicos que classificam o comportamento do organismo, sendo eles (Vallon *et al.* 2015): *Agrichnia* (cultivo), *Repichnia* (locomoção), *Cubichnia* (repouso), *Fodinichnia* (alimentação), *Domichnia* (habitação), *Fugichnia* (escape), *Pascichnia* (pastagem), *Equilibrichnia* (equilíbrio), *Praedichnia* (predação), *Calichnia* (reprodução), *Chemichnia* (quimiosimbiose), *Digestichnia* (digestão), *Fixichnia* (fixação) e *Ecdysichnia* (muda).



**Figura 3.1:** Esquema etológico atualizado para icnofósseis com base no comportamento de seus criadores (modificado de Bromley 1996). Os nomes das categorias são abreviados (sem o sufixo –ichnia), as subcategorias são mencionadas entre colchetes. As setas mostram as transições entre categorias etológicas. *Crossovers* para digestichnia podem ocorrer em qualquer outra categoria; para simplificação, essas setas foram omitidas. Os vestígios de fósseis dados como exemplos são os seguintes: 1: *Asteriacitus*; 2: *Rusophycus*; 3: *Cruziana*; 4: bipedal vertebrate trackway 5: Rastreamento de decolagem de um pássaro; 6: *Oichnus*; 7: *Helminthopsis* or *Planolites*; 8: *Helminthoida*; 9: *Cosmorhapse*; 10: *Paleodictyon*; 11: *Condritos*; 12: *Ficosifão*; 13: *Spongeliomorpha* or *Thalassinoides*; 14: *Spongeliomorpha* or *Ophiomorpha*; 15: *Skolithos*; 16: *Arenicolitos*; 17: *Centrichnus* em um braquiópode; 18: *Podichnus* em um braquiópode; 19: toca de cria de besouro; 20: estrutura de escape; 21: *Rebuffoichnus*; 22: vestígios de muda do decápole; 23: *Rusophycus morgati*; 24: *Lumbricaria*; 25: *Favreina*; 26: *regurgitalita*; 27: gastrólitos. (Vallon *et al.* 2015).

### 3.1.2 Nomenclatura

A Nomenclatura baseia-se em sistema de regras que registram os componentes da classificação e facilitam a comunicação entre a academia. Utiliza-se como nível taxonômico principal o icnogênero, determinado pela Classificação Icnotaxonômica, e dentro deste portam-se diversas icnoespécies. Estes níveis possuem sufixos próprios como –ichnus, -ichnites, -opus e –phycus (Carvalho & Fernandes, 2004). Os princípios fundamentais da nomenclatura partem do Código para Nomenclatura de Icnofósseis proposto por Sarjeant & Kennedy (1973), que conta com nove princípios para poder estabelecer a possibilidade da criação de um incito, sendo alguns deles:

Princípio I – Icnofóssil é definido como a indicação de atividade de um vegetal ou animal preservado em rocha, sedimento ou fóssil corporal. O termo é considerado para abranger estromatólitos.

Princípio II - A nomenclatura do traço fóssil é totalmente baseada nas características da estrutura deixada pela atividade do organismo. É reconhecido que uma determinada estrutura pode ser produzida por dois ou vários organismos diferentes, relacionados ou não, portanto a aplicação de um nome específico não implica necessariamente que este tenha sido formado por um certo organismo.

Princípio V - A nomenclatura do *táxon* é baseada na prioridade de publicação e deve ser incluída no Código Internacionl de Nomenclatura Zoológica.

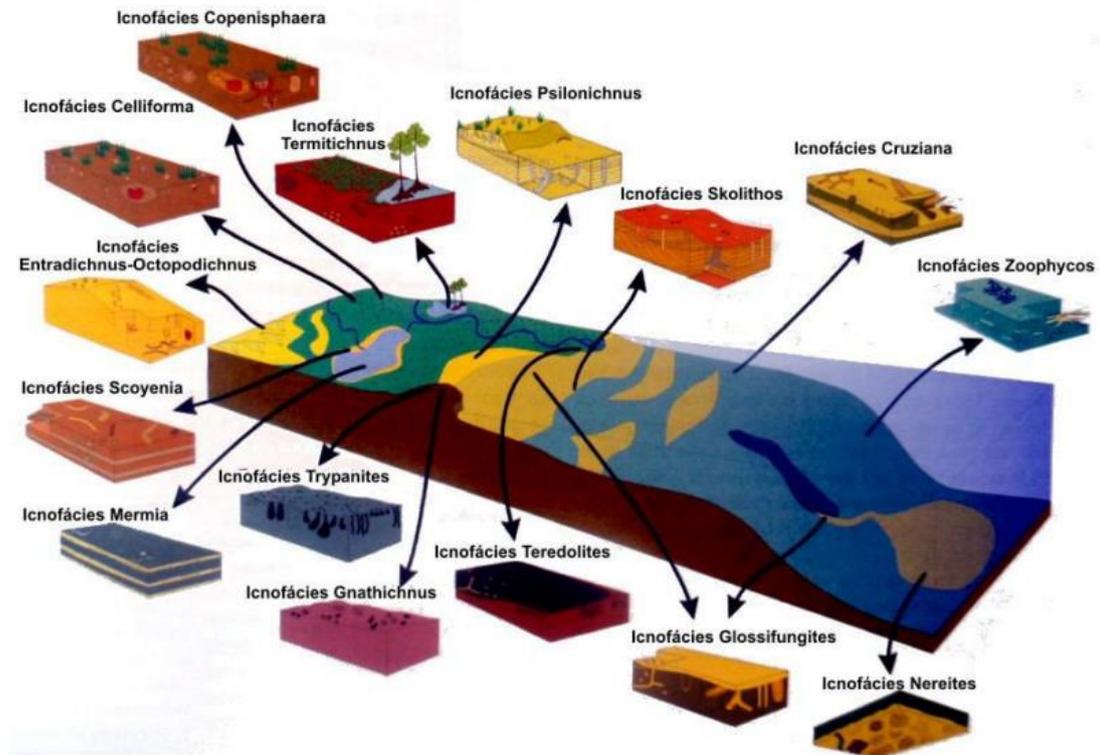
### 3.1.3 Icnofácies e icnocenose

A icnocenose trata-se de um grupo de estruturas biogênicas resultante do trabalho de uma comunidade singular, sendo estas produzidas por animais (icnofauna) ou por vegetais (icnoflora), relacionadas a distribuição ambiental. As icnofácies contem feições chave compartilhadas por diferentes icnocenoses em amplo espectro de idades, mas em mesmas condições ambientais, sendo assim a icnofácies é o registro da icnocenose preservado (Frey *et al.* 1990, Carvalho & Fernandes 2004).

São diversos os fatores que controlam a origem e a diversidade de icnofósseis, como as condições energéticas da interface deposicional, o tipo de substrato, viabilidade alimentar, profundidade da água, nível de energia e granulação do sedimento. As variações nos conjuntos de traços são resultado dos modos de vida e requisitos ambientais, determinando conjuntos de parâmetros ecológicos e geológicos (Carvalho & Fernandes 2004).

As Icnofácies Continentais (*Coprinisphaera*, *Scoyenia*, *Termitichnus*, *Mermia*, *Psilonichnus*) ainda são pouco conhecidas, porém pode-se estabelecer quatro ambientes com registros consideráveis de traços, sendo eles: Lagos efêmeros; Planícies de inundação e margens de canal; Lagos permanentes; Dunas eólicas e áreas interdunas. Já as Icnofácies Marinhas (*Psilonichnus*, *Trypanites*, *Glossifundites*, *Teredolites*, *Skolithos*, *Cruziana*, *Zoophycos*, *Nerites*) são bem mais conhecidas, principalmente pelo fato de serem foco de estudos que procuram estabelecer parâmetros de temperatura, suprimento de nutrientes, batimetria, taxa de oxigenação, energia, salinidade e aporte sedimentar (Frey & Pemberton

1985; Carvalho & Fernandes 2004, Fernandes *et al.* 2007). Recentemente, Buatois & Mángano (2011) apresentaram mais algumas icnofácies de ambientes marinhos e continentais (Figura 3.2).



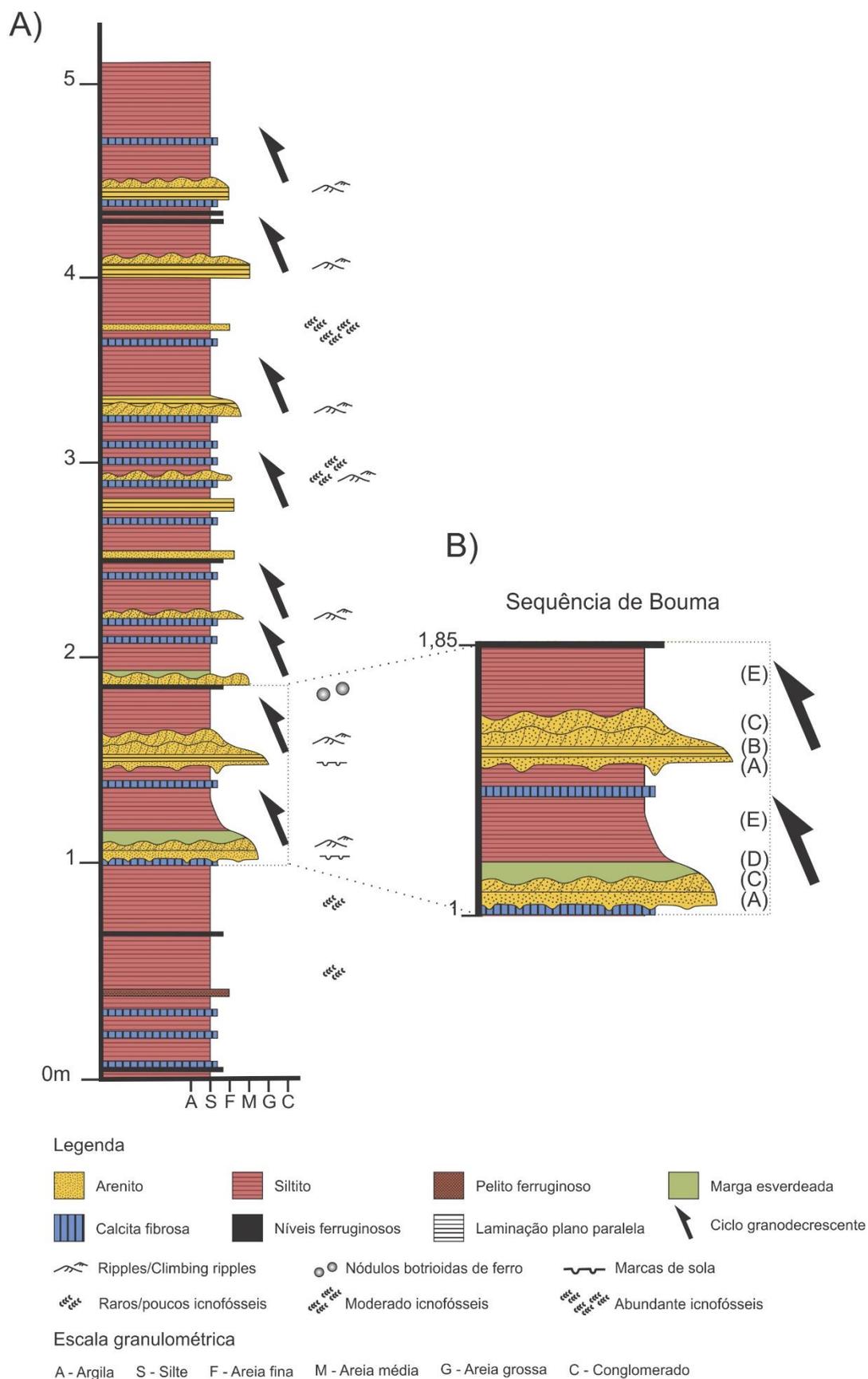
**Figura 3.2:** Distribuição das diversas icnofácies marinhas e não marinhas apresentadas por Buatois & Mángano 2011.



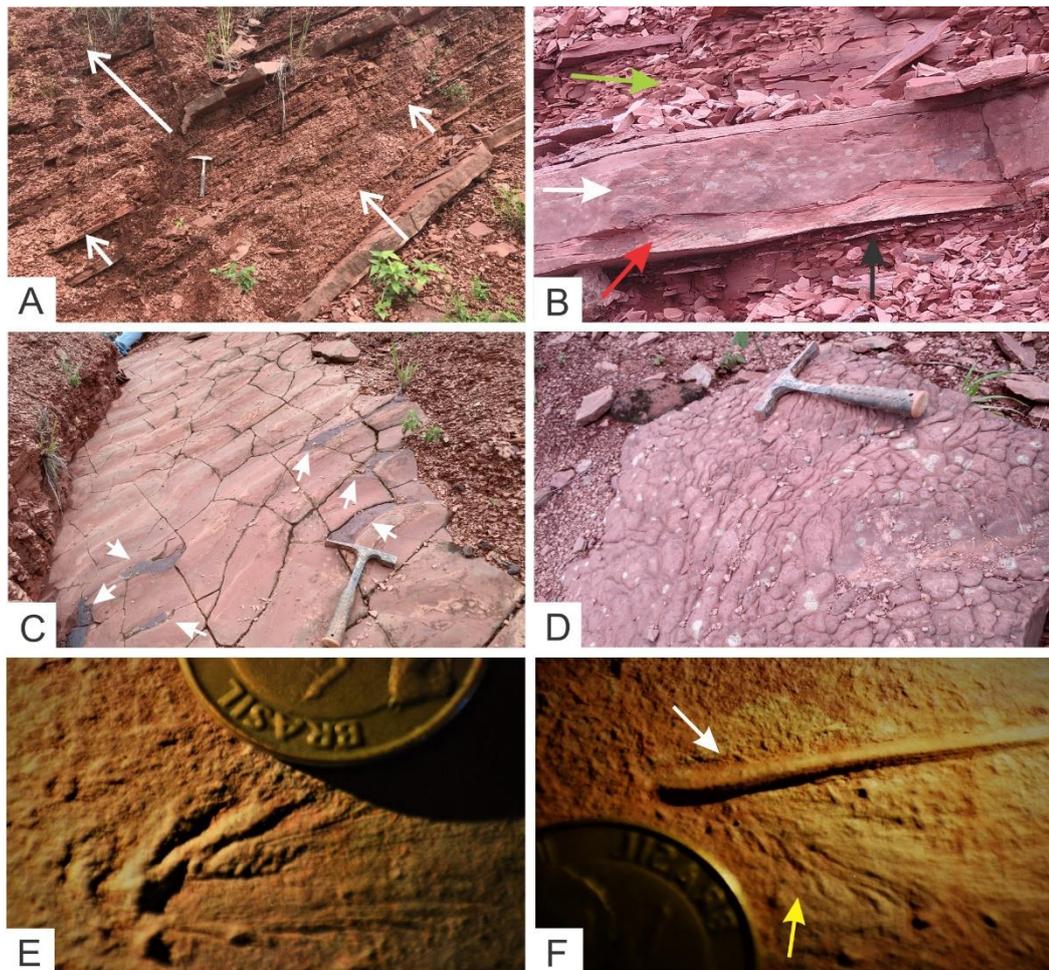
#### 4.1 ASPECTOS GERAIS DA EXPOSIÇÃO DE IBIRACATU - MG

A sucessão estudada apresenta aproximadamente 5 m de espessura com camadas inclinadas para NE com mergulho de até 40°. Consiste de siltitos vermelhos, arenitos finos a médios de cor bege, e subordinadamente arenito grosso (Figuras 4.1, 4.2A). Também ocorre níveis de calcita fibrosa e ferruginosos ao longo das laminações, bem como nódulos brotríoidais de Fe dispersos. Estes estratos são organizados em ciclos granodecrescentes ascendentes, com até 0,5 m de espessura. Quando completos (Figura 4.1, 4.2A), os ciclos apresentam, da base para o topo, arenito grosso maciço (Figura 4.2B), arenito grosso com turboglifos (Figura 4.2 D), arenito grosso com marcas de sola como estruturas de obstáculo e ferramenta (Figura 4.2 E-F), arenito fino com laminação cruzada cavalgante (Figura 4.2B) e marca onduladas assimétricas (Figura 4.2C), arenito grosso a fino com laminações plano paralela (Figura 4.2B), marga esverdeada e siltito laminado (Figura 4.2B). Grande parte dos ciclos ocorrem de forma incompleta, sendo composto por siltitos laminados com intercalações delgadas de arenitos fino a grosso maciço. Além disso, a sucessão apresenta um espessamento ascendente das fácies de siltito laminado.

Os icnofósseis ocorrem em duas fácies distintas: siltitos laminados com baixo índice de ocorrência e arenitos fino maciço com alto índice de ocorrência. Ambos as ocorrências estão associadas aos planos de acamamento deposicional, o que define forma intraestratais. No geral os traços fósseis variam de milimétricos a centimétricos, representados por pista simples, bilobadas, horizontais e descontinuas, além de exemplares vermiformes e agrupamentos de pequenos relevos arredados.



**Figura 4.1:** Perfil litoestratigráfico da sucessão de Ibiracatu. A) Perfil sedimentológico completo com os níveis de bioturbação; B) Detalhe do ciclo granodescente ascendente com as respectivas fácies da sequência de Bouma (1942) – (A) Arenito maciço com marca sola; (B) Arenito com laminação plano paralela; (C) Arenito com laminações cruzadas cavalgantes; (E) Siltito com laminação plano paralela.



**Figura 4.2:** Principais fácies sedimentares da sucessão de Ibiracatu. A) Aspecto geral exposição com ciclos granodrecrescente ascendente (seta); B) Arenito grosso laminado (seta branca), arenito fino com laminação cruzada cavalgante (seta vermelha); siltito laminado (seta verde) e níveis de calcita fibrosa (seta preta); C) Arenito fino com marcas onduladas e crosta de ferruginosas (seta branca); D) Arenito grosso com turboglifo; E) Detalhe de marca de obstáculo; e F) Marca de obstáculo (seta amarela) e arraste (seta branca).

## 4.2 TRAÇOS FÓSSEIS

Nas amostras analisadas foram observados oito tipos de traços fósseis, que incluem *Aulichnites*, *Diplichnites*, *Dirmorphicnus quadrifidus*, *Sagittichnus*, *Gordia*, *Rusophycos*, e três icnofósseis desconhecidos pela literatura, além de um fóssil caracterizado pelo molde externo de trilobita. A Tabela 4.1 relaciona os traços e fóssil com as respectivas amostras coletadas.

**Tabela 4.1:** Relação entre as amostras e icnofósseis encontrados.

Amostras	<i>Aulichnites</i>	<i>Diplichnites</i>	Dimorphicnus	Sagittichnus	Gordia	Carapaça de trilobita	Morfotipo 1	Morfotipo 2	Morfotipo 3
AM-01	X								
AM-02	X	X			X				
AM-03	X	X		X					X
AM-04	X			X			X		
AM-05	X							X	
AM-06	X		X						
AM-07	X					X			

### ***Aulichnites* Fenton e Fenton, 1937**

#### ***Aulichnites isp.***

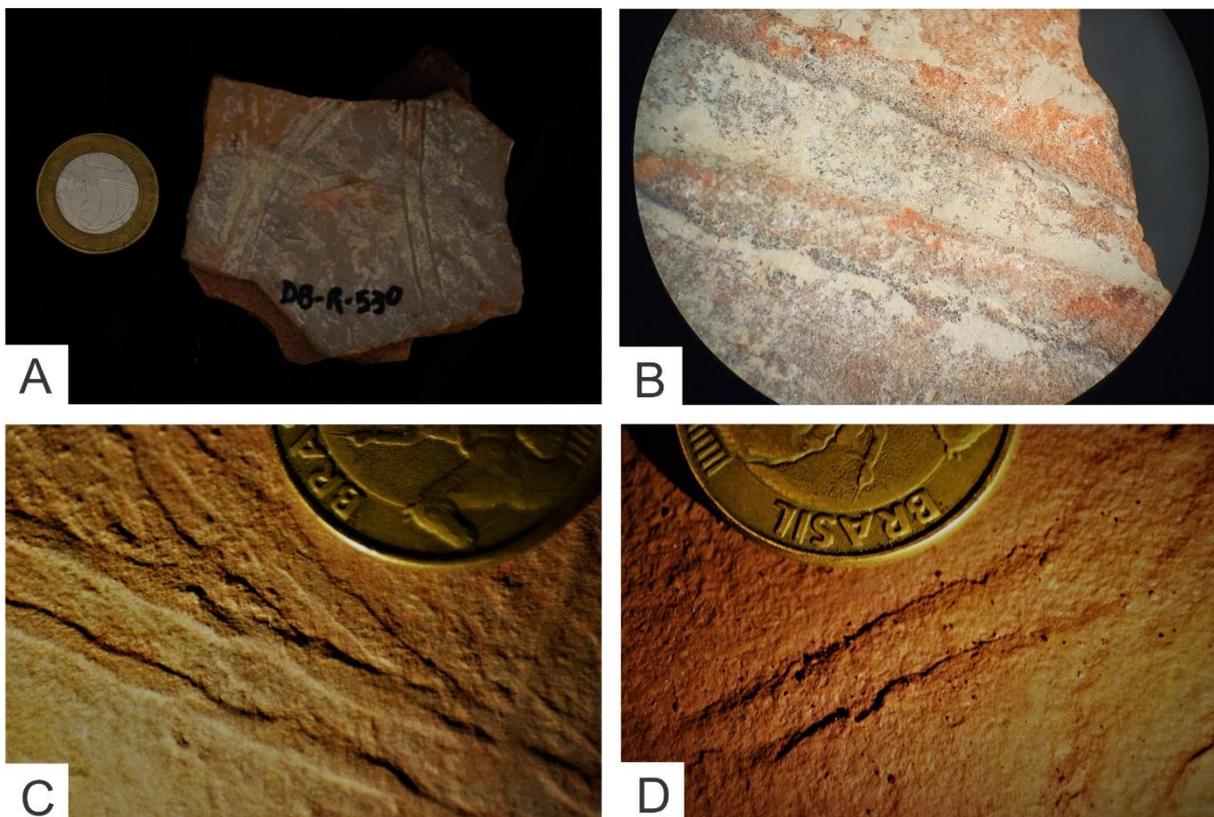
**Descrição:** Corresponde a trilhas simples horizontais, bilobadas e contínuas em hiporelevo convexo positivo (Figura 4.3 a, b, c), com exceção da amostra 07 (Figura 4.3 d), associadas a forma de locomoção. Os traços não apresentam uma espessura consistente, uma vez que aparecem com padrão de adelgaçamento e espessamento. Nas observações em lupa com aumento máximo de 40 vezes não foram identificadas feições de textura ou estrutura que indicasse a características do apêndice responsáveis pela locomoção do organismo, o que sugere um traço fóssil de rastejamento (*drag marks*). Apresentam comprimento máximo de 18 cm, em pares paralelos com distância de aproximadamente 1-3 mm entre eles e espessura que varia de 1 a 2 mm.

**Discussão:** Na literatura esse tipo de icnogênero é classificado etologicamente como *repichnia* (Seilacher 1953a; Muller 1962) e/ou *Pascichnia* (Fernandes *et al.* 2002), que compreendem todos os traços produzidos durante a locomoção e pastagem respectivamente. Usualmente são simples e rasos, sendo contínuos ou interrompidos, podendo apresentar relevo negativo (*epichnia*) ou positivo (*hypichnia*). Não são observados combinados com outros tipos de comportamento, refletindo apenas a locomoção do organismo que o originou (Bromley 1996; Vallon *et al.* 2015). Um mesmo organismo pode gerar diferentes tipos de traços de locomoção portanto, a Ichnotaxa deve ser baseada na morfologia e não do originador. Um traço pode mudar sua característica ao longo de sua extensão, talvez devido à mudança do substrato, ou até uma modificação no comportamento do organismo (Trewin 1994).

Na maioria dos traços de locomoção é possível medir a largura externa e interna, mesmo quando o organismo está rastejando ou quando é possível observar a marca feita por um único apêndice, sendo classificada como uma *imprint*. No caso da presença de *imprints* sua morfologia é

essencial para a definição da Ichnotaxa e da identificação do organismo causador. Outros fatores importantes para classificar e entender um traço de locomoção são: Repetição da distância; Simetria; Continuidade; Descontinuidade; Curvatura; Filas (Trewin 1994).

Exemplares desse icnogênero foram encontrados no Membro Boacica, Formação Batinga, Bacia de Sergipe-Alagoas (Farias 2013) (Figura 4.4), além da Formação Vila Maria na região de Chapada dos Guimarães, na borda Noroeste da Bacia do Paraná (Moreira & Borgui 1999). Segundo Fernandes *et al.* (2002), o icnogênero *Aulichnites* são usualmente atribuídos a moluscos gastrópodes ou artrópodes do Cambriano Superior-Cenozoico



**Figura 4.3:** Exemplares do icnogênero *Aulichnites*. A) Amostra 01 com pistas simples em hiporrelevo convexo positivo. B) Imagem obtida através da lupa do laboratório de paleontologia com pistas preservados em hiporrelevo convexo positivo. C) Amostra 02 com detalhe de bifurcação preservado em hiporrelevo convexo positivo. D) Amostra 07 com pistas simples preservadas em epirrelevo côncavo negativo.



**Figura 4.4:** Exemplar do membro Boacica da Formação Batinga FPH1594-I preservado em hiporrelevo convexo positivo e epirrelevo côncavo negativo (Farias 2013).

### *Diplichnites* Dawson, 1873

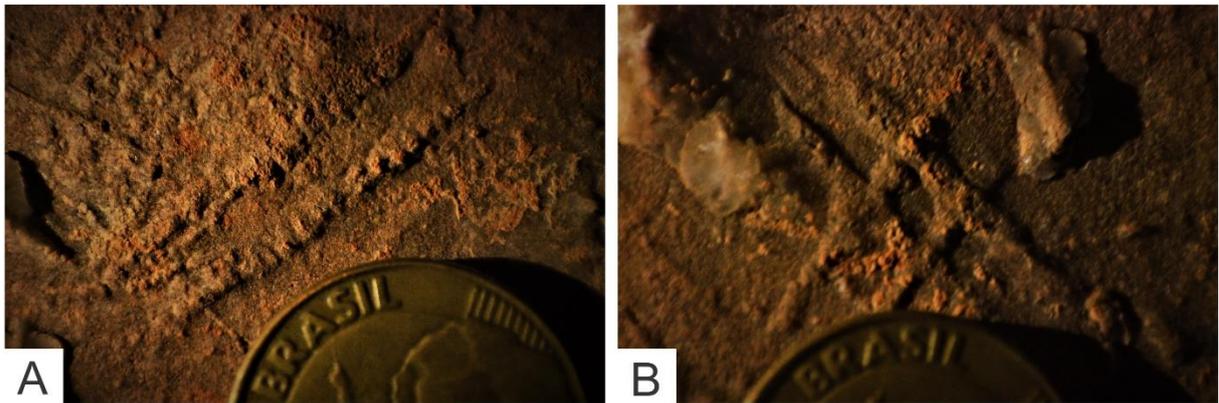
#### *Diplichnites* isp.

**Descrição:** Corresponde a pistas caracterizadas por relevos positivos isolados e arredondados, dispostos em pares paralelos com distância de 2-3 mm entre eles (Figura 4.5). A simetria dos pares é oposta e a curvatura do traço varia de reta a suavemente curva. Apresentam até 3 cm de comprimento com possível identificação da característica do apêndice do organismo formador do traço.

**Discussão:** Diferente do icnogênero discutido acima, o traço apresentado demonstra uma impressão do apêndice do organismo que originou o icnofóssil. Dessa forma, foi possível a utilização do sistema de esboço para a identificação e descrição de rastros de artrópodes de Trewin (1994) (Anexo 1), que através de fatores como morfologia, simetria e curvatura permite sua classificação. Diante da utilização da chave de descrição, permitiu-se o reconhecimento de uma possível classificação de icnogênero correspondente ao *Diplichnites*, que representam pistas associadas a formas de locomoção, sendo classificadas etologicamente como *repichnia* (Seilacher 1964). A classificação deste icnogênero é considerada complexa devido a grande variedade desse tipo de traço, porém os organismos geradores responsáveis por essas pistas são artrópodes (Trewin 1994).

Em Minas Gerais estas pistas foram identificadas nos pavimentos estriados do Grupo Santa Fé, que ficam localizados a noroeste do estado e são pouco conhecidos pela comunidade geológica. O

icnofóssil *Diplichnites*, que estava presente em fácies glacio-lacustres em siltitos e folhelhos, permitiu a determinação da idade da sequência glacial, posicionando cronoestratigraficamente o grupo no Permo-Carbonífero. Estes são característicos do Paleozoico Superior e permitem a correlação glaciogênica com o evento glacial gonduanico (Campos & Dardenne 1994). O icnogênero também foi encontrado na Formação Pimenteiras da Bacia do Parnaíba, nas regiões de valença do Piauí e Pimenteiras (Figura 4.6) (Cunha 2015).



**Figura 4.5:** Icnogênero *Diplichnites* identificados na amostra 02. A) Pista simples em hiporrelevo com uma pequena estrutura idicando uma pista menor na base do taço. B) Bifurcação entre um *Diplichnites* com um *Aulichnites*.



**Figura 4.6:** Pistas simples caracterizadas por sulcos isolados e alongados de comprimento aproximadamente iguale dispostos em pares paralelos e de espaçamento constante descrito como *Diplichnites isp.* (Cunha 2015).

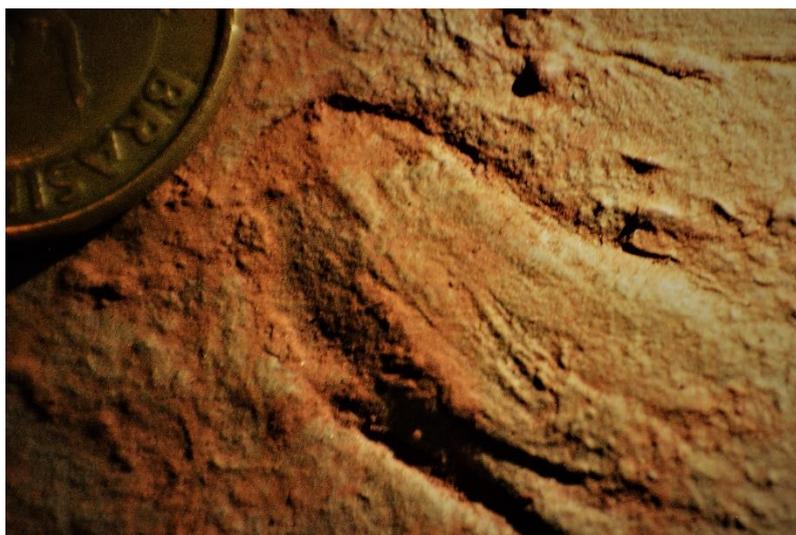
## *Dirmorphichnus* Seilacher 1955a

### *Dimorphichnus* isp.

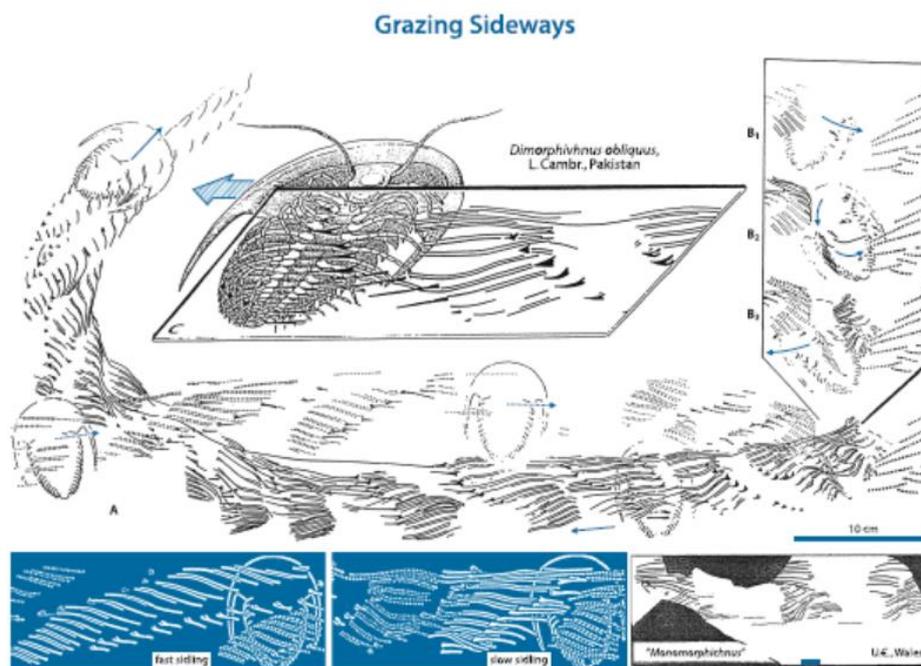
**Descrição:** Traço fóssil caracterizado por apresentar arranhões oblíquos, representando morfologia análoga ao movimento de desvio. Trata-se de uma estrutura com 2 cm de comprimento e 1 cm de largura com parte superior arredondada (Figura 4.7).

**Discussão:** O icnofóssil apresentado pode ser interpretado como um movimento lateral originado por um artrópode, e segundo Seilacher (2007), esses traços usualmente são produzidos por trilobitas que se movem sobre a superfície em busca de alimento, refletindo a mudança de um movimento oblíquo em um desvio perfeito. O icnogênero que representa tal morfologia é conhecido como *Dimorphichnus*. Seilacher (1955) cita que o icnogênero deve ser considerado como uma variante comportamental de *Diplichnites*.

A locomoção lateral pode aparecer muito ineficiente, ainda mais quando se trata de um animal alongado como artrópodes. Porém, quando o objetivo não se trata da locomoção em si, esse tipo de comportamento também pode estar relacionado a um rastreamento da superfície, e procura por alimento, como dito acima. Quando o trilobita pasta (pascichnia) lateralmente, os apêndices de um lado servem para empurrar aqueles que permaneceram estáticos. No entanto, observa-se que ambos os conjuntos são oblíquos em relação a o eixo da pista (Figura 4.8). A razão é que as pernas não agem simultaneamente, mas em sequência, arrastando as partes do corpo passando da parte traseira à extremidade dianteira do corpo, como no modo de caminhar (Seilacher 2007). Na literatura não foram encontrados exemplos desse tipo de icnogênero no Brasil.



**Figura 4.7:** Icnogênero *Dimorphichnus* preservado em hiporelevo com movimentação de desvio para direita.



**Figura 4.8:** Exemplo esquemático do icnogênero *Dimorphichnus* gerado pelo comportamento de grazing sideways de artrópodes (Seilacher 2007).

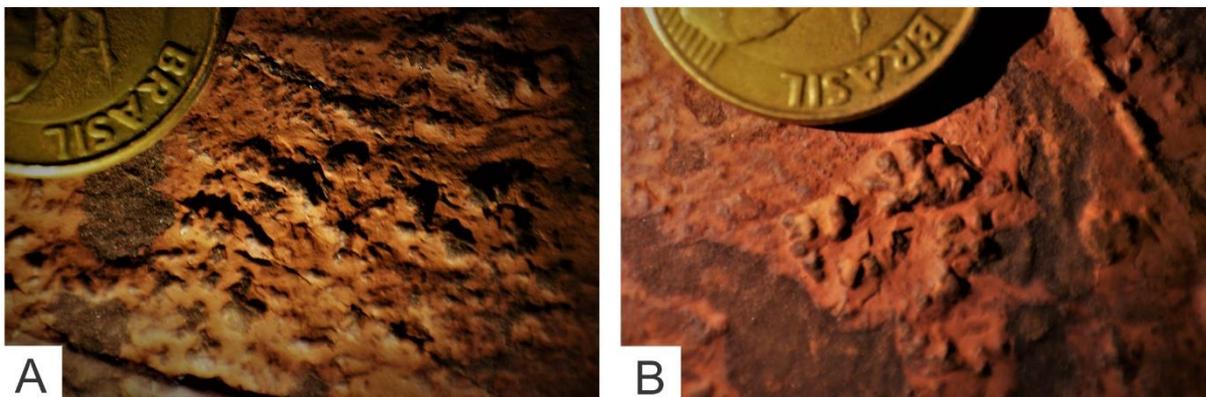
### ***Sagittichnus* Seilacher, 1953b**

#### ***Sagittichnus* isp.**

**Descrição:** Tratam-se de pequenos, subcirculares a ovóides, montículos convexos (hiporrelevo) ou fossas côncavas (epirelevo), ocorrendo em grupos pequenos a grandes que ocorrem aleatoriamente pelas amostras (Figura 4.9). Individualmente, os pequenos montes apresentam em torno de 1 mm de tamanho, e em conjunto 1-2 cm.

**Discussão:** Atribuído ao icnogênero *Sagittichnus* devido à sua morfologia característica e seus agrupamentos altamente concentrados. Segundo Seilacher (1953b) *Sagittichnus* é descrito como pequenas cavidades e montículos em forma de ponta de flecha que geralmente são interpretados como vestígios de repouso, etologicamente classificados como *Cubichnia*. De origem desconhecida, já foi associado a pequenos rastros de artrópodes por Głuszek (1995) nos depósitos continentais de uma sucessão portadora de carvão do Carbonífero Superior na Polônia. Este icnogênero foi relatado em depósitos marinhos rasos e de água doce para salobras continentais (Głuszek, 1995; Garvey & Hasiotis, 2008; Jackson *et al.* 2016). O *Sagittichnus* varia do Cambriano ao recente (Retrum *et al.* 2011; Jackson *et al.* 2016). Também não foram encontrados exemplares desse icnogênero no Brasil, no entanto foi

utilizado como exemplo espécimes de *Sagittichnus* encontrados no Membro Spence da Formação Langston, nas montanhas de Wellsville, Northern Utah, EUA (Figura 4.10) (Hammersburg *et al.* 2018).



**Figura 4.9:** Exemplares do icnogênero *Sagittichnus* em hiporelevo positivo.



**Figura 4.10:** Aglomeração pequena de *Sagittichnus* em hiporelevo positivo no exemplar IBGS PJ-M-025; 2. Aglomeração de *Sagittichnus* (setas pretas) com *Lockeia siliquaria* (seta branca) em hiporelevo positivo exemplar IBGS LG-M-003 (Hammersburg *et al.* 2018).

### *Gordia* Emmons, 1844

#### *Gordia isp.*

**Descrição:** Se assemelham a tocas lisas em hiporelevo positivo, sinuosas, não ramificadas, cilíndricas com cruzamentos comuns e preenchimento maciço. Caracterizadas por trilhas múltiplas e arqueadas medindo em torno de 2-5 mm de comprimento e 1 mm de largura (Figura 4.11).

**Discussão:** O traço fóssil acima foi atribuído ao Icnogênero *Gordia*, originalmente descrito e nomeado por sua semelhança com o verme de água doce, *Gordius Linnaeus*. Este icnogênero é comumente interpretado como traço de locomoção (*repichnia*), alimentação (*fodichnia*) ou de pastagem (*pascichnia*) de vermes anelídeos ou outros organismos semelhantes a vermes, artrópodes ou nematóides. Representa icnofóssil de cruzamento de fácies mais comuns, ou seja, é relatado em quase todos os ambientes

deposicionais, de marinhos profundos e rasos a depósitos estuarinos, fluviais e lacustres, do Ediacarano e recente. (Crimes & Anderson 1985; Wang *et al.* 2009; Hasiotis *et al.* 2012; Jackson *et al.* 2016; Hammersburg *et al.* 2018).

No Brasil o icnogênero foi identificado nas rochas das Formações Rio Bonito e Palermo na Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul (Netto 1995), além da Bacia do Itajaí e Camarinha (Netto 2012). Assim como o icnogênero *Sagittichnus*, *Gordia* também foi encontrado no Membro Spence da Formação Langston, nas montanhas de Wellsville, Northern Utah, EUA (Figura 4.12) (Hammersburg *et al.* 2018).



**Figura 4.11:** Exemplar do icnogênero *Gordia* preservado em hiporelevo positivo.



**Figura 4.12:** Espécimes de *Gordia* no Membro Spence. 1. *Gordia marnia* em *Banffia* sp. Filme de carbono BST em hiporelevo positivo e negativo, IBGS LG-M-006; 2. *Gordia marnia* em hiporelevo positivo e epirelevo negativo, IBGS PJ-M-004, Miner's Hollow (Hammersburg *et al.* 2018).

#### 4.4 ICNOFÓSSEIS DE AFINIDADE DESCONHECIDA

Algumas das morfologias encontradas não puderam ser relacionadas a qualquer outro Icnogênero descrito na literatura. Contudo, a descrição desses traços fósseis torna-se necessária, mesmo que em caráter preliminar, para que ocorra a divulgação dos icnofósseis, de forma contribuir para trabalhos posteriores. Adotou-se a terminologia geral de morfotipos para nomear as formas encontradas.

##### Morfotipo I

##### Icnofóssil *Incertae sedis*

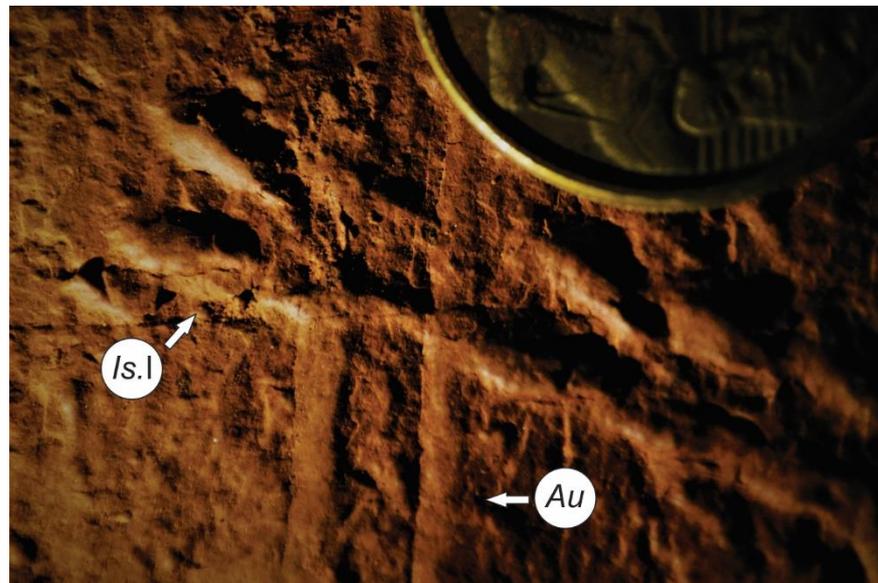
##### *inc. sed.*

**Descrição:** Pista única caracterizada por relevos positivos isolados semelhantes a formato de vírgula, dispostos em pares paralelos com distância de 1,5 mm entre eles e comprimento de 5 mm (Figura 4.13; 4.14). A simetria dos pares é oposta e a curvatura do traço não fica evidente pelo fato da pista ser curta e só possuir um exemplar da mesma. Apresenta 3 cm de comprimento com possível identificação da característica do apêndice do organismo formador do traço em que a impressão do mesmo apresenta orientação oblíqua.

**Discussão:** Pelo sistema de esboço para a identificação e descrição de rastros de artrópodes de Trewin (1994), o icnogênero mais próximo das características apresentadas acima é o *Diplichnites*. Porém, o fato de somente uma pista relacionada a este traço tenha sido observada, e que se diferencia morfologicamente do *Diplichnites* isp. descrito anteriormente, criando incerteza quanto a sua posição taxonomica. Um dos Icnogêneros ao qual essa trilha se assemelha é o *Protovirgularia*, um icnito de locomoção produzido por um molusco cavador (bivalve) (Ekdale *et al.* 2001), porém este icnogênero é caracterizado por possui um distinto traço, que em hiporrelevo positivo seria representado por um sulco, entre os pares de relevos em formato de vírgula, e este não se apresenta no icnofóssil encontrado no afloramento. Portanto, pela escassez de material para comparações e análise, o traço fica conhecido como Icnofóssil *Incertae sedis*. O termo *Incertae sedis* é uma expressão latina utilizada na Taxonomia para indicar a incapacidade de estabelecer a posição exata de um táxon dentro da classificação. O uso da expressão é considerado provisório sendo necessário um tempo para se estabelecer um consenso entre os acadêmicos para a determinação da posição do táxon (Matthews 1973). Dentro da literatura não é possível encontrar informações suficientes que podem criar uma base sólida para a determinação de um posicionamento taxonômico, no caso, um icnogênero.



**Figura 4.13:** Morfotipo I em bloco solto no afloramento preservado em hiporelevo positivo.



**Figura 4.14:** Morfotipo I em detalhe classificado como Icnogênero *Icertae sedis*. (Is.I) preservado em hiporelevo convexo em bifurcação com o icnogênero *Aulichnites* (Au).

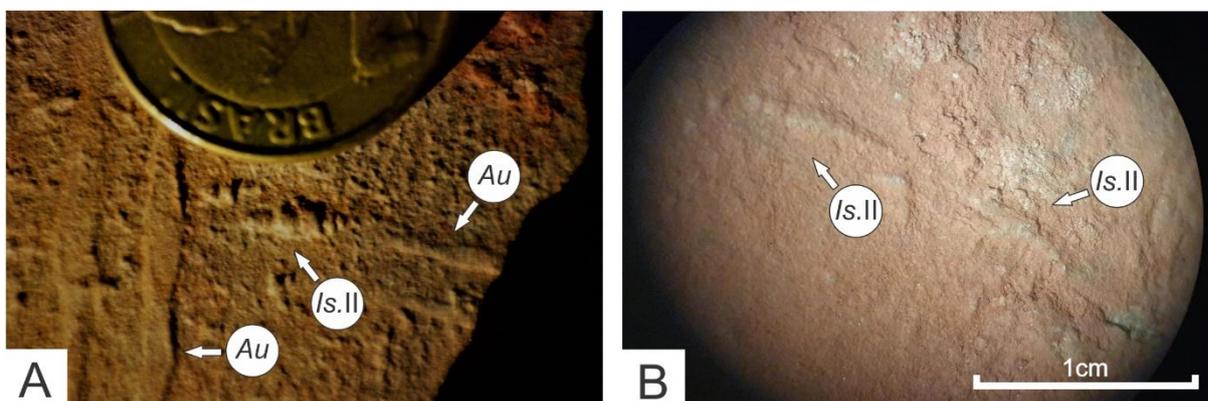
## Morfotipo II

### Icnofóssil *Incertae sedis*

#### *inc. sed*

**Descrição:** Impressões em alto relevo convexo, semelhante a pequenos “*croissants*” com comprimento total variando entre 3 e 5 mm que ocorrem em pares isolados apresentando relevos centrais maiores que os das extremidades (Figura 4.15). Ocorrem em pares paralelos ou em fila.

**Discussão:** As formas descritas acima foram vistas em apenas uma amostra, não demonstrando qualquer correlação com os demais Icnogêneros apresentados. De certa forma se assemelham a pequenos traços de locomoção interrompidos, porém justamente por essa falta de material não podemos chegar a uma classificação correta. Não foi encontrada na bibliografia disponível nenhuma forma que se assemelhe à esta, o que nos leva a nomeá-lo como Icnofóssil *Incertae sedis*.



**Figura 4.15:** Morfotipo II classificado como Icnogênero *Incertae sedis*. A) *Incertae sedis* (Is.II) e *Aulichnites* (Au) preservados em hiporelevo positivo. B) *Incertae sedis*. (Is.II) preservado em hiporelevo positivo, visto em lupa com aumento de 40x.

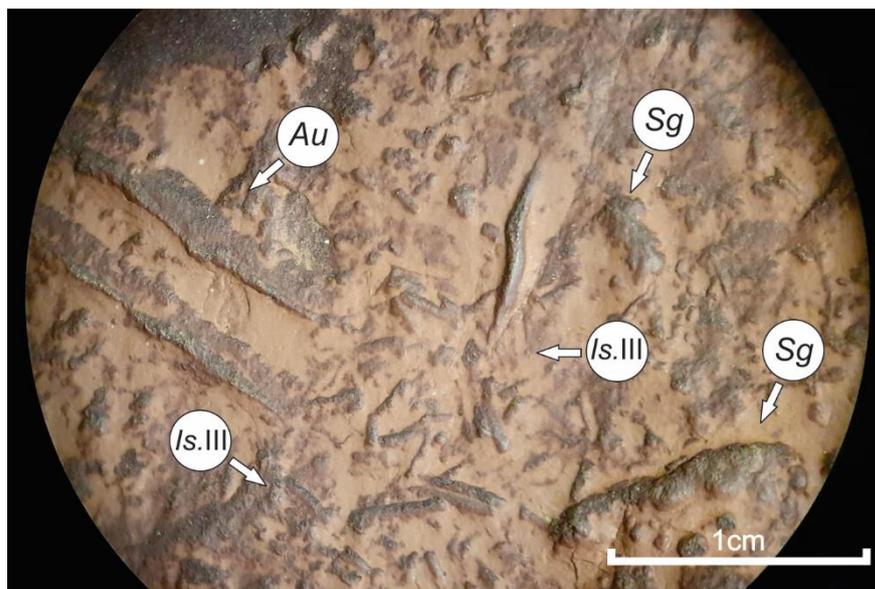
### Morfotipo III

#### Icnofóssil *Incertae sedis*

##### *inc. sed.*

**Descrição:** Impressões em alto relevo semelhantes a pequenas e finas “plaquetas” retas com orientações randômicas. O tamanho das plaquetas varia de 1 a 3 mm e ocorre em aglomerados de aproximadamente 1,5 cm de largura. (Figura 4.16)

**Discussão:** As amostras usadas nesse trabalho apresentam significativa quantidade de marcas de ferramentas bem salientes que as vezes se assemelham a esse icnofóssil. Porém, o fato de os traços não apresentarem orientação bem definida confirma que não se trata de estruturas sedimentares. Como não foi encontrado na bibliografia disponível nenhuma forma semelhante à está classifica-se esse traço como *incertae sedis*.



**Figura 4.16:** Morfotipo III classificado como Icnogênero *Icertae sedis* (Is.III), preservado em hiporelevo com presença dos icnogêneros *Aulichnites* (Au) e *Sagittichnus* (Sg) preservados em hiporelevo.

## 4.5 OCORRÊNCIA FOSSILÍFERA

### Molde externo da carapaça de trilobita

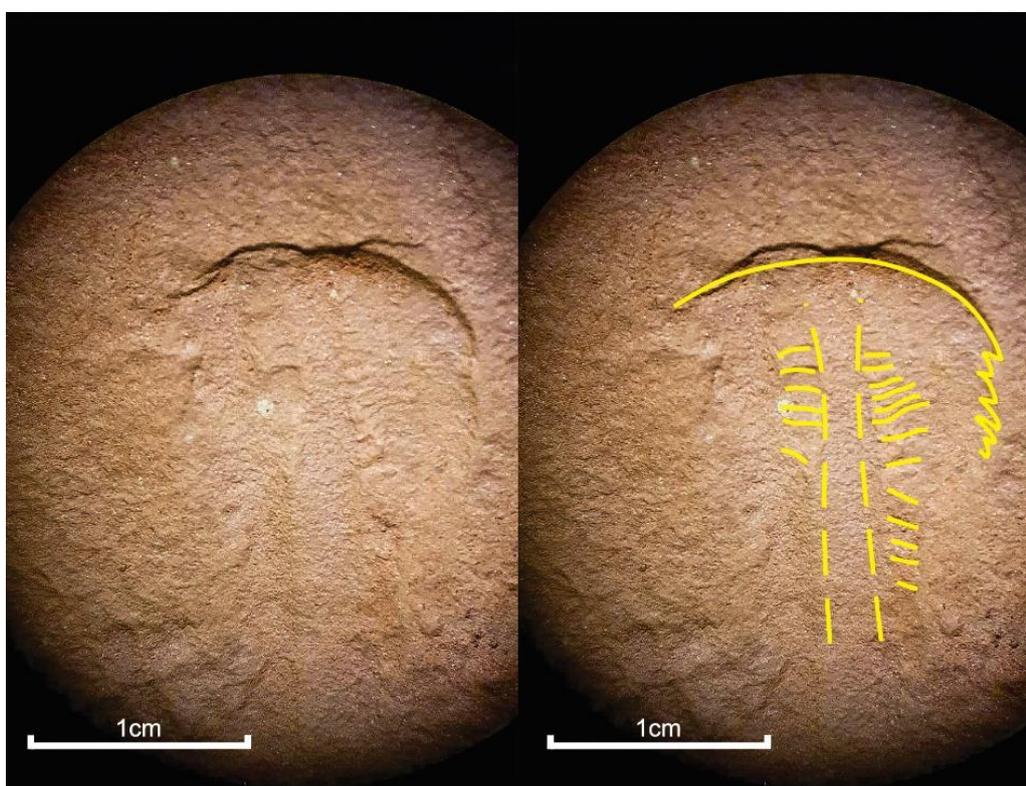
**Descrição:** Estrutura bilobada em epirelevo, medindo 2 cm de comprimento e 1 cm de largura. Possui lobos paralelos com marcas de riscos transversais e pequenas formas de “espinho” na parte superior do lobo direito. A curvatura superior é marcada por relevo negativo mais profundo, se confundindo com estruturas sedimentares originadas por processos de erosão. Os lóbulos têm em torno de 2 cm de comprimento e 3 mm de largura. No meio, os lóbulos estão separados por 2 mm (Figura 4.17).

**Discussão:** Trilobitas são invertebrados marinhos, muito conhecidos por dominarem as primeiras biotas do Paleozoico. Sua ascensão precoce a alto nível de complexidade coloca esses invertebrados em posição evolutiva importante dentro do reino animal. Trilobitas possuíam dispositivos óticos incrivelmente sofisticados na forma de grandes olhos compostos, que permitia uma visualização imediata do ambiente, combinados com a percepção sensorial na natureza (Levi-Setti 1975).

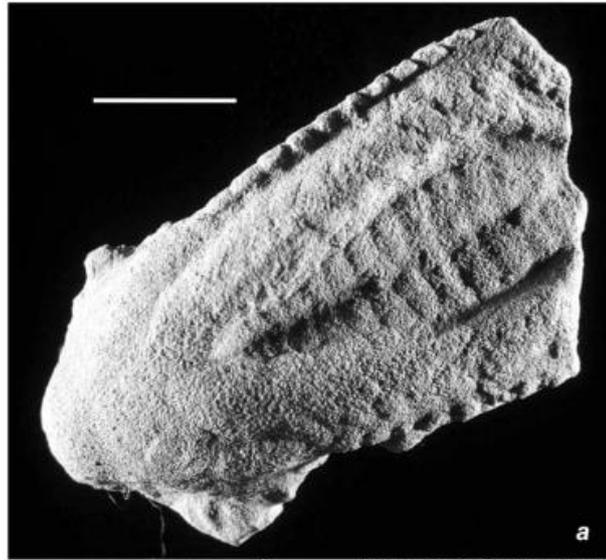
As formas de preservação da carapaça do trilobita podem ocorrer de diversas formas, sendo a apresentada acima como uma provável preservação autigênica (cimentação). Esse tipo de preservação gera a formação de réplicas de superfície no momento da deposição ou durante a diagênese muito inicial (sedimento mole), o que podem resultar em moldes externos ou internos. Os detalhes que representam organização interna do organismo geralmente são perdidos e a maioria dos tecidos, se originalmente presentes, são degradados. Se o sedimento tiver textura fina suficientemente ele pode replicar muitas características da superfície além da preservação usual da forma externa do organismo (Shopf 1975).

Na amostra descrita acima podemos concluir que se trata de um molde fóssil e não de um traço fóssil conhecido como *Rusophycus* pois é possível distinguir a região cefálica. O icnogênero *Rusophycus* é caracterizado por montículos (ou depressões) bilobados com estrias, e representam comportamentos de *cubichnia* (repouso), *praedichnia* (predatório) ou *fodinichnia* (alimentação), porém usualmente evidencia um animal em repouso (Figura 4.18) (Bergstrom 1973).

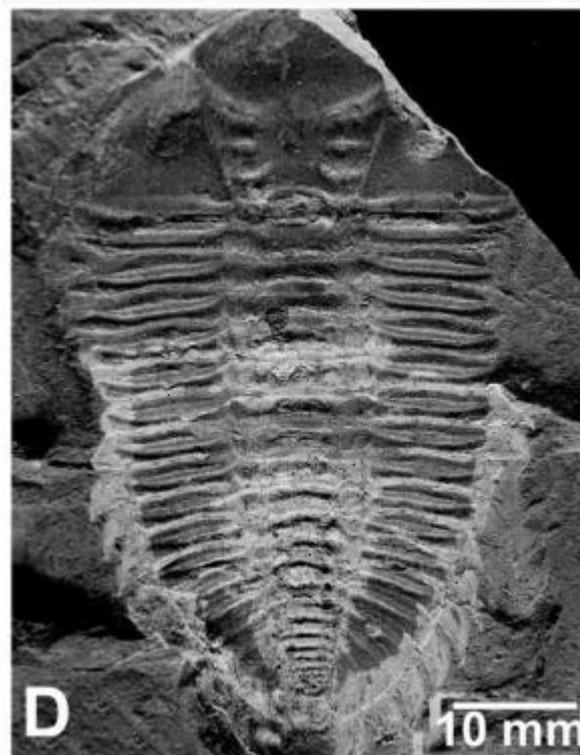
No Brasil o fóssil também foi encontrado nas Formações Maecuru e Ererê da Bacia do Amazonas (Figura 4.19) (Silva & Fonseca 2005; Faria *et al.* 2007), além da Formação Pimenteira na Bacia do Parnaíba no Piauí (Ponciano *et al.* 2011) e na Formação Ponta Grossa, da Bacia do Paraná, Estado do Paraná (Soares 2007, Tavares 2008).



**Figura 4.17:** Molde externo da carapaça de uma trilobita identificado na amostra 07. Traço em relevo negativo com lobo direito apresentando melhor preservação.



**Figura 4.18:** Icnogênero *Rusophycus* em hiporelevo encontrado na Formação Pimenteira da Bacia do Parnaíba no Piauí (Corrêa et al. 2004)



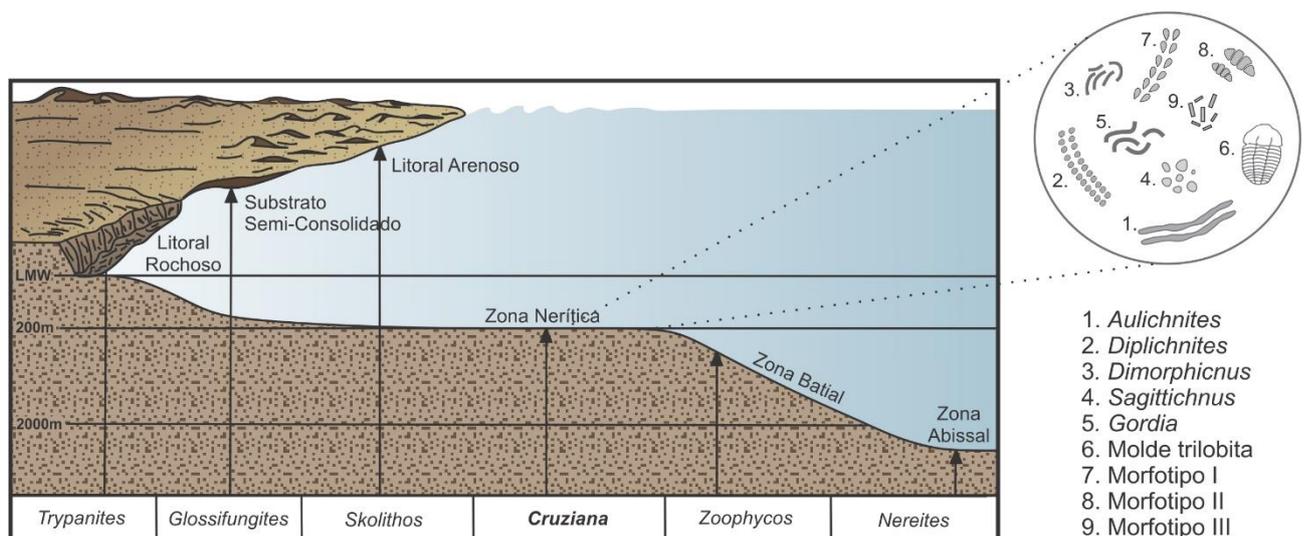
**Figura 4.19:** Molde externo de um indivíduo inteiro MCTer 2807 (Silva & Fonseca 2005).



5.1 ICNOFÁCIES

Como discutido anteriormente, a icnofácies é caracterizada pelo agrupamento de icnofósseis e icnofábricas (totalidade de estruturas de bioturbação em uma rocha sedimentar) originadas em um determinado contexto, representando o conjunto de atividades desenvolvidas pelos organismos presentes no momento, relacionado a parâmetros ecológicos que controlam a distribuição de seus produtores e sua disposição dentro ou sobre o substrato (Netto 2001; Carvalho & Fernandes 2004).

Com base nos icnofósseis identificados foi possível identificar a presença de icnogêneros característicos da Icnofácies *Cruziana*. Esta icnofácies corresponde a ambientes marinhos abaixo do nível de base de ondas de tempo bom e acima no nível de base de tempestade, com condições ambientais tranquilas e energia moderada a baixa, posicionados no *Shoreface* inferior, conhecida como Zona Nerítica (Figura 5.1) (Carvalho & Fernandes 2004).

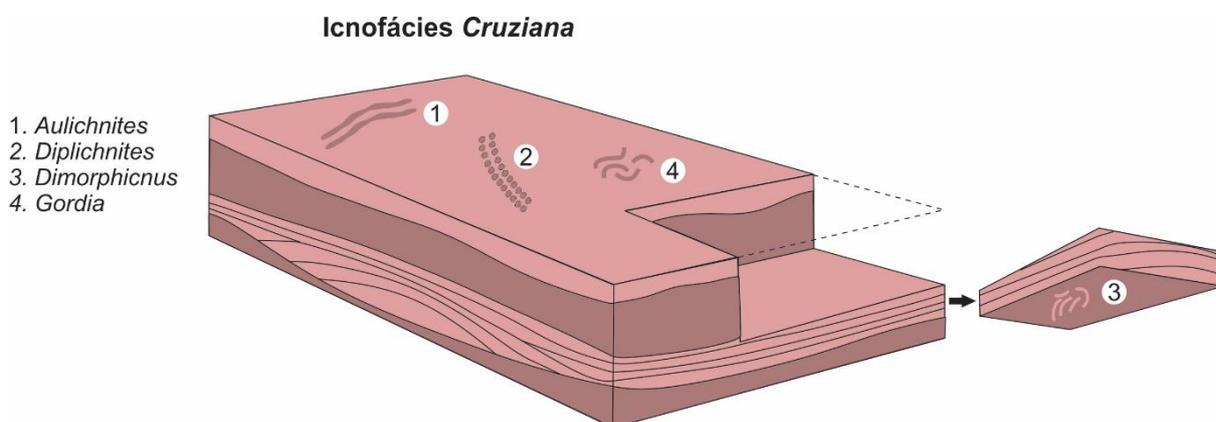


**Figura 5.1:** Diagrama esquemático das zonas oceânicas em relação a profundidade e suas respectivas icnofácies. Maior detalhamento da Icnofácies *Cruziana* e os icnofósseis encontrados neste trabalho. Modificado Carvalho & Fernandes 2004.

A icnofácies *Cruziana* é caracterizada por apresentar diversas categorias ecológicas, ampla icnodiversidade, e alta densidade de ocupação e aproveitamento do fundo marinho. Compreende conjunto de traços de-principalmente de icnitos de locomoção epi- e intra-estatais, além de ocorrerem

escavações horizontais e inclinadas, irregularmente distribuídas em substratos inconsolidados (*softground*), originadas por organismos detritívoros ou carnívoros (Frey & Seilacher 1980; Frey & Pemberton 1984; Carvalho & Fernandes 2004). Os icnogêneros identificados característicos dessa icnofácies são *Aulichnites*, *Diplichnites* e *Dimorphichnus* (Figura 5.2). Os traços encontrados que constituem a icnofácies correspondem a construções de locomoção (*Repichnia*) e possivelmente pastagem (*Pascichnia*).

O icnogênero *Gordia* é característico da icnofácies *Mermia*, que representa os substratos lacustrinos e subaquáticos, caracterizados por dominância de traços de pastagem e alimentação horizontais a subhorizontais produzidos com ocorrência subordinada a traços de locomoção e icnodiversidade relativamente alta a moderada (Carvalho & Fernandes 2004, Buatois & Mángano 2011). Porém, *Gordia* pode ser encontrado associado à Icnofácies *Cruziana* (Buatois & Mángano 2011), sendo aqui atribuído à esta icnofácies.



**Figura 5.2:** Reconstrução esquemática de uma Icnofácies *Cruziana* generalizada representando os respectivos icnitos encontrados no município de Ibiracatu, Minas Gerais.

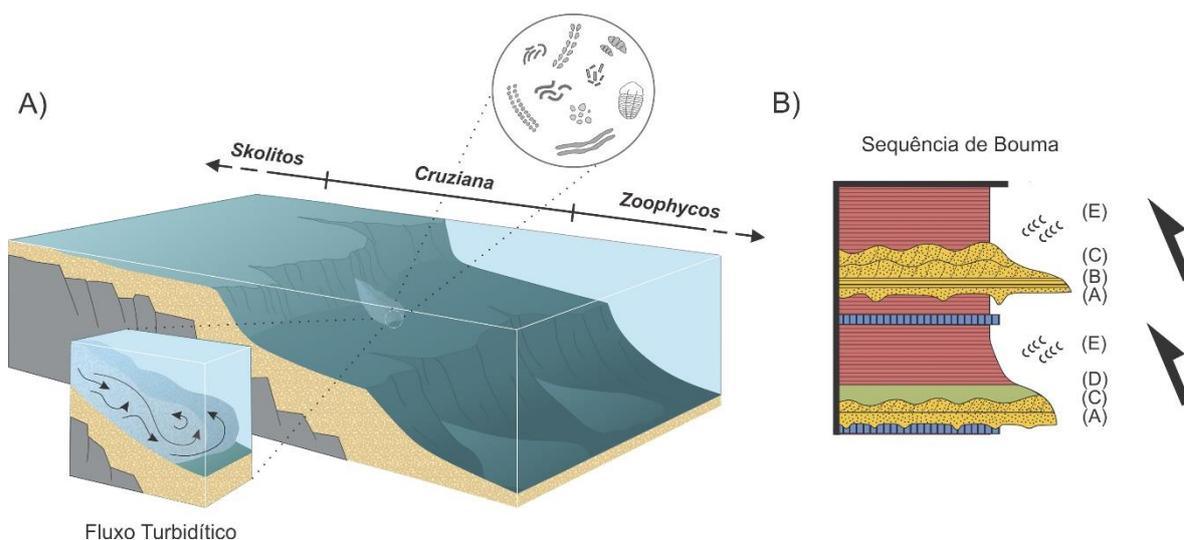
Segundo o diagrama de bioturbação de Taylor e Goldrig (1993) as amostras estudadas neste trabalho se encaixam nos índices 2 e 3, que se caracterizam por, respectivamente, poucos icnofósseis isolados com até 30% de perturbação da estrutura original e aproximadamente de 31 a 60% de perturbações com algumas superposições entre os traços. Estes valores sugerem níveis de oxigenação típicos de ambientes aeróbios, ou um ambiente transicional em que a interface água sedimento detinha razoáveis níveis de oxigenação e índices de nutrientes que variam de moderado a alto (Bromley 1996).

## 5.2 SIGNIFICADO PALEOAMBIENTAL – ICNOFÓSSEIS X FÁCIES SEDIMENTARES

A associação de fácies revela a presença de ciclos granodecrescente ascendentes marcados na base por estruturas sedimentares erosivas como marcas de sola, estruturas de obstáculo e ferramenta, que evoluem para estruturas deposicionais com alta taxa de energia (arenito maciço) seguida de desaceleração de fluxo (arenitos com laminação plano paralela e cruzada cavalgante) e por fim sedimentação de baixa energia com predomínio de decantação de material fino (siltitos laminados). Esta associação é interpretada como a clássica sucessão de fácies da “sequencia” de Bouma (1962), como representado na figura 4.1B e 4.4. Esta sucessão define depósitos turbidíticos, desenvolvidos a partir de fluxo gravitacional episódico de baixa densidade associado a desaceleração de fluxo em zonas marinhas distais (Bouma 1962; Mutti *et al.* 1999). A sucessão completa é composta por cinco níveis, que representam os diferentes episódios de sedimentação durante o fluxo das correntes de turbidez, caracterizados pela deposição, em ordem ascendente, por (Figura 5.3B): (A) areia compacta, com base bem definida, (B) areia estruturada em lâminas paralelas, (C) areia com laminação cruzada e cruzada cavalgante, (D) silte e argila depositados em lâminas paralelas e (E) argila laminada a maciça correspondente a acumulação calma e lenta.

A análise da assembleia de icnofósseis permite que se obtenha dados para inferir condições deposicionais, e estudos de icnofábrica ajudam a estabelecer análise de taxa de sedimentação e energia do depósito (Carvalho & Fernandes 2004). No caso da sucessão de Ibiracatu, o ~~índice de icnotramas~~ baixo índice de bioturbação (BI-2 e 3) combinado com a presença de estruturas sedimentares bem preservadas, principalmente de laminações cruzadas cavalgantes, sugere eventos deposicionais episódicos com alta taxa de sedimentação, que não permitiram o completo retrabalhamento do substrato sedimentar por meio hidráulico ou atividades orgânicas. Estes dados corroboram com a dinâmica de deposição de fluxos gravitacional turbidíticos, que representam episódios eventuais de rápida deposição ligado a uma alta taxa de sedimentação.

Usualmente, depósitos turbidíticos são relacionados a assembleia de traços fósseis marinhos de batimetria profunda e zonas distal, como as icnofácies *Nereites* e *Zoophycos*, justamente por estarem relacionados com a quebra de talude das plataformas. Entretanto, a presença de icnofácies *Cruziana* na sucessão de Ibiracatu, indica um ambiente marinho nerítico com até ~200 m de profundidade, como observado na figura 5.1 de Carvalho & Fernandes (2004). Apesar da divergência batimétrica entre associação de fácies e icnofácies, as evidências sugerem um ambiente deposicional ligado fluxos gravitacionais de turbiditos marinhos rasos, podendo ser associados a um sistema plataformal ligado a sucessivas quebras de gradientes em batimetrias rasas (Figura 5.3A), que em seguida era colonizado e retrabalhado por organismos bentônicos complexos como artrópodes e poliquetas.



**Figura 5.3:** (A) Modelo paleoambiental para ocorrência dos icnofósseis da sucessão de turbiditos marinhos de águas profundas da região de Ibiracatu. (B) A sucessão de fácies de Bouma encontrados neste trabalho que representam ciclos deposicionais de turbiditos e os níveis de ocorrência de icnofósseis.

### 5.3 SIGNIFICADO ESTRATIGRÁFICO

Em função das amostras serem pontuais, ou seja, oriundas de um único afloramento, se torna difícil determinar com precisão qual a unidade litestratigráfica que estes icnofósseis pertencem. No entanto, com base em comparações litoestratigráficas, paleoambientais, de idade e evidências fossilíferas ocorrentes na literatura foi possível propor três hipóteses de unidades pertencentes a bacia do São Francisco, que inclui: formações Serra da Saudades e Três Marias do Grupo Bambuí, e Formação Floresta do Grupo Santa Fé (Figura 5.4).

A Formação Serra da Saudades consiste em argilitos, siltitos e folhelhos esverdeados, com raras intercalações e lentes de arenitos, considerados depósitos marinhos profundos influenciados por correntes de turbidez. Apesar da semelhança litológica e paleoambiental, até o momento foram registrados apenas a presença de Estruturas Sedimentares Microbialmente Induzidas (ESMI) do tipo *Kinneyia* (*sensu* Porada *et al.* 2008) nesta unidade. Esta formação tem sido considerada por muito tempo do final do Neoproterozoico (Dardenne 1978), entretanto novas idades  $520 \pm 5,3$  Ma obtidas em zircões provindos de tufos vulcânicos intercalados aos folhelhos, sugere que a mesma pertence ao Cambriano (Moreira *et al.* 2020). Com estas novas idades radiométricas atribuídas ao Grupo Bambuí, acredita-se que a porção inferior do grupo deve ter sido depositado durante fase de alta biodiversificação na Terra. Estas evidências corroboram a presença de traços fósseis de formas complexas, bem como a presença de artrópodes como o trilobita observado neste estudo.

Outra unidade em potencial para ocorrência destes é a Formação Três Marias, unidade superior do Grupo Bambuí. A formação é constituída essencialmente de arenitos cinzas a verde escuro com

ocorrências de pelitos e arcóseos subordinados que atestam por uma deposição em plataforma rasa influenciada por correntes turbidíticas (Chiavegatto 1992, Iglesias & Uhlein 2009). Recentemente a descoberta do icnofóssil *Treptichnus pedum* (Seilacher 1955) em arenitos avermelhados feita por Sanchez *et al.* (2020) estabelece idade fanerozóica para a porção superior do Grupo Bambuí. Essas evidências também corroboram com a presença de icnofósseis gerados por organismos complexos.

A Formação Floresta foi tomada como uma unidade potencial por conta da semelhança do afloramento de Ibiracatu com as rochas estudadas em afloramentos do Membro Brejo do Arroz, encontrado no norte de Minas nos municípios de Canabrava e Santa Fé de Minas, e pela presença do Icnogênero *Diplichnites*. Como citado anteriormente, o Membro Brejo do Arroz é composto essencialmente por folhelhos avermelhados bem laminados em que comumente ocorrem intercalações milimétricas a centimétricas de siltitos e arenitos finos que apresentam estruturas sedimentares bem preservadas como marcas onduladas, laminações cruzadas, estratificações plano-paralelas e laminações cruzadas cavalgantes, o que coincide com a descrição do afloramento estudado. O membro também é caracterizado pela presença de elementos glaciais como *drop-stones*, estruturas de carga e deslizamentos. É importante salientar que geralmente, o Membro Brejo do Arroz sobrepõe diretamente os arcóseos da Formação Três Marias, apesar do imenso hiato deposicional entre as unidades (Campos & Dardenne 1994).

A idade da sucessão glacial do Grupo Santa Fé foi determinada com base nos icnogêneros *Isopodichnus* e *Diplichnites* presentes em fácies glacio-lacustres, que embora não possibilitem uma idade bem definida, permitem uma correlação com o evento glacial gonduânico (Campos & Dardenne 1994; Campos & Dardenne 2000). No Membro Brejo do Arroz, o icnogênero *Diplichnites*, que também foi encontrado nas amostras do presente trabalho, é representado por pistas de traços duplos, retilíneos ou ligeiramente curvos, paralelos, com 2–4 mm de largura cada e distantes entre si 1–4 mm. Porém, os depósitos desse membro são interpretados como de origem glacio-lacustre de caráter continental, o que descarta a possibilidade de terem sido produzidos por trilobitas (Campos e Dardenne 1994; Campos & Dardenne 2000). Estes dados vão de encontro com o que foi encontrado nas amostras estudadas. A presença do molde externo da carapaça de um trilobita (Figura 4.15), bem como registros de fácies de turbiditos clássicos de Bouma (Figura 5.3), sugerem fortemente para depósitos marinhos submetidos a fluxos gravitacionais. Porém, esta incompatibilidade paleoambiental não descarta possibilidade de uma variação lateral de fácies deposicionais dentro da Formação Floresta para ambientes marinhos.

Idade	Grupo	Formação	Litologia	Sistemas Depositionais	Evidências de vida
Carbonífero / Permiano	Santa Fé	Tabuleiro		Periglacial eólico Lacustre	Não há evidências de vida
		Floresta	 	Fluvio - Glacial Glacio - Lacustre + Turbidítico Base de Morainas	★ <i>Isopodichnus</i> e <i>Diplichnites</i> (Campos & Dardenne 1994; 2000)
?					
Cambriano	Bambuí	Três Marias		Plataforma rasa + Turbidítico	★ <i>Treptichnus pedum</i> e Estruturas Sedimentares Microbialmente Induzidas (ESMI) (Sanchez <i>et al.</i> 2020)
		Serra da Saudade		Marinho profundo Correntes de turbidez	★ Estruturas Sedimentares Microbialmente Induzidas do tipo <i>Kinnevia</i> (ESMI) (Porada <i>et al.</i> 2008)
		Lagoa do Jacaré		Marinho litorâneo Plataforma Carbonática	Estromatólitos (Iglesias & Uhlein 2009; Ribeiro <i>et al.</i> 2009; Fragoso <i>et al.</i> 2011b) <i>Eremolinea yacarei n. gen. n. sp.</i> e <i>Jaibella verdegrandensis n. gen. n. sp.</i> (Baptista 2020)
Ediacarano Superior	Bambuí	Serra de Santa Helena		Marinho sublitorâneo Marinho Plataformar + ondas	Estruturas Sedimentares Microbialmente Induzidas (ESMI) (Noffke <i>et al.</i> 1996)
		Sete Lagoas		Marinho raso Plataforma carbonática	Estromatólitos <i>Gymnosolem</i> , <i>Conophyton</i> e <i>Linela avis</i> (Cloud & Dardenne 1973; Cloud & Moeri 1973; Marchese 1974; Dardenne <i>et al.</i> 1976; Dardenne 1979) Vestígios de cistos <i>Bambuites erichsenii</i> (Sommer 1971) Diversos acritarcos e microfósseis (in: Denezine 2018) <i>Cloudina</i> sp., <i>Corumbella wernerii</i> , <i>Paleophycus</i> (Warren <i>et al.</i> 2014)
Ediacarano Inferior					
Criogeniano		Jequitai		Glacial	Não há evidências de vida

**Legenda**

- Diamictito   
 Carbonato   
 Arenito   
 Siltito   
 Folhelho   
 Rocha Vulcanoclástica (Moreira *et al.* 2020)   
 ★ Possíveis unidades

**Figura 5.4:** Correlação da litoestratigrafia e geocronologia (Dardenne, 1978; Campos & Dardenne 2009; Uhlein *et al.*, 2019; Campos & Dardenne 1994; Modificado: Moreira *et al.* 2020), dos sistemas deposicionais (Campos & Dardenne 1994; Dardenne 1981; Campos & Dardenne 2009) e das evidências de vida dos grupos Bambuí e Santa Fé com as possíveis unidades de interesse para o presente trabalho.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÃO

---

As análises de indentificação e contextualização dos icnofósseis encontrados na sucessão sedimentar da região de Ibiracatu permitiu estabelecer as seguintes conclusões:

- 1- Foram reconhecidos e classificados oito traços fósseis (*Aulichnites*, *Diplichnites*, *Dimorphicnus*, *Sagittichnus*, *Gordia*, Morfotipo I, Morfotipo II e Morfotipo III) e um fóssil (molde externo da carapaça de trilobita) que levaram a interpretação da icnofácies *Cruziana*, pertencente à zona nerítica;
- 2- O índice de bioturbação sugere alta taxa de sedimentação, alta energia deposicional, e razoáveis níveis de oxigenação com índices de disponibilidade de nutrientes de moderado a alto;
- 3- A sucessão estudada pertence provavelmente à: i) Formação Serra da Saudades; ii) Formação três Marias; ou iii) Formação Floresta. Entretanto, com as limitações de afloramento, número de amostras e pelo fato de se tratar de um trabalho inicial, não foi possível definir com clareza qual a unidade pertencente;
- 4- A presença de fósseis do final do período ediacarano e do início do cambriano fornecem diversas informações que podem ajudar a decifrar os principais eventos evolutivos da biosfera durante este intervalo. Assim, a descobertas destas evidências de vida no depósito turbidítico do município de Ibiracatu servem como grande apoio a futuras pesquisas que envolvem a bioevolução das unidades em questão, podendo conter nova janela para observação e exploração do Cambriano no cenário brasileiro.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

Alkmim F. F. & Martins-Neto M. A. 2001. A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: Pinto C. P. & Martins-Neto M. A (eds). *Bacia do São Francisco – Geologia e Recursos Naturais*. Belo Horizonte, SBG-MG, 9-30p.

Alkmim F.F. 2004. O que faz de um Cráton um Cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito Neves, B.B. (eEds) – *Geologia do Continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca – São Paulo, 17-35p.

Alkmim F.F. 2018. História Geológica de Minas Gerais. CODEMIG, Belo Horizonte - MG, 37p.

Baptista, M.C. 2020. *Fósseis do grupo Bambuí (Ediacariano) no norte de Minas Gerais e suas implicações bioestratigráficas e geocronológicas*. il. Thesis – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 126 p.

Bergstrom J. 1973. Organization, life and systematics of trilobites. *Fossils and Strata*, **2**:69.

Bertling M., Braddy S.J., Bromley R.G., Demathieu G.R., Genise J., Mikulas R., Nielsen J.K., Nielsen K.S.S., Rindsberg A.K., Schlirf M., Uchman A. 2006. Names for trace fossils: a uniform approach. *Lethaia*, **39**: 265-286.

Bouma A.H. 1962. Sedimentology of Some Flysch Deposits: a Graphic Approach to Facies Interpretation. *Elsevier*, Amsterdam. 168 p.

Brito Neves B. B., Campos Neto M. C., Fuck R. A. 1999. From Rodiniato Western Gondwana, an approach to the Brasiliano-Pan african Cycle and orogenic collage. *Episodes*, **22**:155-166.

Bromley R.G. 1996. *Trace Fossils - Biology, Taphonomy and Applications*. 2ª ed., Londres, Chapman and Hall, 361 p.

Buatois L.A. & Mángano M.G. 1998. Trace fossil analysis of lacustrine facies and basins. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **140**:367-382.

Campos J. E. & Dardenne M. A. 1994. A Glaciação Neopaleozóica na Porção Meridional da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, **24**:65-76.

Campos J.E. & Dardenne M.A. 1997. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. 1997a. *Revista Brasileira de Geociências*, **27**: 269-282

Campos J.E.G. & Dardenne M.A. 2000. Pavimentos estriados do Grupo Santa Fé, neopaleozóico da Bacia Sanfranciscana. In: Schobbenhaus C., Campos D.A., Queiroz E.T., Winge M., Berbert-Born M. (edsEdit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*.

Campos Neto M. C. 2000. Orogenic Systems from SouthwesternGondwana: an approach to Brasiliano-PanAfrican Cycle and Orogenic Collage in Southeastern. In: Cordani, U. G., Milani, E. J., Thomaz Filho, A., Campos, D. A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, 31º IGC, 335-365p.

Carvalho I.S. & Fernandes A.C.S. 2004. Icnofósseis. In: Carvalho I.S. (eds.), *Paleontologia*. Editora Interciência, Rio de Janeiro. 2. ed. v. 1, p., 143-169 p.

Cassedanne J. 1965. Decouverte d'algue dans le calcaire de Bambui (Etat de Minas Gerais, Brésil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **37**: 79-81

Chiavegatto J.R.S., Gomes N.S., Dardenne M.A., Delgado, C.E.R. 2003. Estratigrafia do Grupo Bambuí nas regiões do norte de Minas Gerais: Uma nova unidade estratigráfica em um contexto de inversão de bacia. In: SBG, Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Ouro Preto, Anais **12**, p. 24.

Chiavegatto J.R.S.1992. *Análise estratigráfica das seqüências tempestíticas da Formação Três Marias (Proterozóico Superior), na porção meridional da Bacia do São Francisco*. MS Dissertation, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 216 p.

Cloud P. & Dardenne M.A. 1973. Proterozoic age of theBambuí Group in Brazil. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **84**:1673-1676.

- Cloud P. & Moeri E. 1973. Conophyton in the Bambuí Group: What form and age? *Geology*, **1**:127.
- Correia L.M.S.A., Agostinho S., Fernandes A.C.S., Vieira P.M. 2004. Icnofósseis da Formação Pimenteira (Devoniano da Bacia do Parnaíba), município de Miranorte, Estado de Tocantins, Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, **62**:283-291.
- Costa, M.T. & Branco, J.J.R. 1961. Introdução. In: Branco J.J.R. (eds.) *Roteiro para a excursão Belo Horizonte – Brasília*. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, CONGR. BRAS. GEOL., 14, Belo Horizonte, Anais, **15**:1-119.
- Costa M. T. & Grossi Sad J. H. 1968. O Cretáceo em Minas Gerais. In: Congr. Bras. Geol., 22, Belo Horizonte. *Resumo das Comunicações*, 23-36.
- Crimes T.P. & Anderson M.M. 1985. Trace Fossils from Late Precambrian-Early Cambrian Strata of Southeastern Newfoundland (Canada): Temporal and Environmental Implications: *Journal of Paleontology* **59**:310-343.
- Cunha L.N. 2015. *Paleoambiente e icnofósseis da Formação Pimenteiras, devoniano da Bacia do Parnaíba, regiões de Valença do Piauí e Pimenteiras, Piauí*. 78 f. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Dardenne M.A, Faria A., Andrade G.F. 1976. Occurrence de stromatolites columnaires dans le Groupe Bambuí (Goiás, Brésil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **48**:555-566
- Dardenne M.A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: Congresso Brasileiro de Geologia, Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), Recife, vol. 2, **30**:507-610.
- Dardenne, M.A. 1979. A estratigrafia dos Grupos Bambuí e Macaúbas no Brasil central. Boi. Núcleo de Minas Gerais/SBG, **1**:43-52
- Denezine M. 2018. Microfósseis Orgânicos da Formação Sete Lagoas, Município de Januária, Estado de Minas Gerais, Brasil: Taxonomia e Análise Bioestratigráfica. Universidade de Brasília, MS Dissertation, 80p.
- A. Ekdale, Richard G. Bromley, A. 2001 . A day and a night in the life of a cleft-foot clam: Protovirgularia-Lockeia-Lophoctenium. *Lethaia*, **34**(2):119–124.
- Faria A.C.G., da Machado D.M.C., Ponciano L.C.M.O., Souza A.R., Vieira A.C.M. 2007. Afloramento OAD 22 da Formação Ererê (Bacia do Amazonas, Brasil): análises sistemática, paleoecológica e paleoambiental. In: Carvalho I.S. (eds.), *Paleontologia: cenários da vida*. Editora Interciência, 83-91 p.
- Farias R.M. 2013. *Caracterização litoestratigráfica e paleontológica do Membro Boacica da Formação Batinga*, Neocarbonífero da bacia de Sergipe-Alagoas. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.
- Fernandes A.C.S., Borghi L., Carvalho I.S., Abreu C.J. (eds) 2002. *Guia dos Icnofósseis de Invertebrados do Brasil*. Rio de Janeiro, Interciência, 260 p.
- Fernandes A.C.S., Carvalho I.S., Agostinho S. 2007. Icnofósseis: Conceitos Gerais. In: Carvalho I.S. & Fernandes A.C.S (eds.), *Incologia. Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, p. 08-23
- Fragoso D.G.C., 2011. *Geologia da região de presidente Olegário e Evolução Tectono-Sedimentar do Grupo Areado*, Eocretáceo da Bacia Sanfranciscana, MG. MS Dissertation, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Frey R. W. & Seilacher A. 1980. Uniformity in marine invertebrate ichnology. *Lethaia*, **23**:183-207.
- Frey R.W., Pemberton S.C., Saunders T.D.A. 1990. Ichnofacies and bathymetry: a passive relationship. *Journal of Paleontology*, **64**:155-158.
- Garvey J. M. & Hasiotis S. T. 2008. An ichnofossil assemblage from the Lower Carboniferous Snowy Plains Formation, Mansfield Basin, Australia: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **258**:257-276.
- Głuszek A. 1995. Invertebrate trace fossils in the continental deposits of an Upper Carboniferous coal-bearing succession, Upper Silesia, Poland: *Studia Geologica Polonica* **108**:171-202.
- Hallam A. 1975. Preservation of Trace Fossils. In: Frey R.W. (eds) *The Study of Trace Fossils*. Springer, Berlin, Heidelberg, 562 p.

Hammersburg S.R, Hasiotis S.T, Robison R.A. 2018. Ichnotaxonomy of the Cambrian spence shale member of the langston formation, Wellsville Mountains, northern Utah, USA. *Paleontological Contributions*, **20**:1-66.

Hasiotis, S.T. T., 2002. Continental Trace Fossil Atlas. SEPM, *Short Course Notes* Number 51, Tulsa, Oklahoma, **51**:132 p.

Hasiotis S.T., Platt B.F, Reilly M., Amos K., Lang S., Kennedy D., Todd J.A, Michel E.. 2012. Actualistic studies of the spatial and temporal distribution of terrestrial and aquatic organism traces in continental environments to differentiate lacustrine from fluvial, eolian, and marine deposits in the geologic record. In O. W. Baganz Y. Bartov K., Bohacs M., Nummedal D., (eds.), *Lacustrine sandstone reservoirs and hydrocarbon systems*. AAPG Memoir, **95**:433-489 p.

Iglesias M. & Uhlein, A. 2009. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, **39**:256-266.

Jackson A. M., Hasiotis S. T, Flaig P.P. 2016. Ichnology of a Paleopolar, River-Dominated, Shallow Marine Deltaic Succession in the Mackellar Sea: The Mackellar Formation (Lower Permian), Central Transantarctic Mountains, Antarctica: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **441**:266-291.

Kuchenbecker M. 2014. *Relações entre coberturas do Cráton do São Francisco e bacias situadas em orógenos marginais*: o registro de datações U-Pb de grãos detríticos de zircão e suas implicações geotectônicas. Unpublished thesis. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, p. 174.

Levi-Setti R. 1975. *Trilobites. A Photographic Atlas*. University of Chicago Press, Chicago. Price. ISBN 0 226 47448 8. – v.113 Issue 2.

Marchese H.U. 1974. Estromatolitos “Gymnosolenidos” Em El Lado Oriental de Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v.4.

Martins M. & Lemos V. 2007. Análise estratigráfica das sequências neoproterozóicas da Bacia do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*. **37**:156-167.

Martinsson A. 1970. Toponomy of trace fóssil. In: Crimes T.P. & Harper J.C. (Eds.). *Trace Fossils. Geological Journal Special Issue*, 3, p. 323-330.

Matthews S. C. 1973. Notes on open nomenclature and synonymy lists. *Palaeontology*, **16**:713-719.

Moreira D.A., Uhlein A., Dussin I.A., Uhlein G.J., Misuzaki A.M.P. , 2020. A Cambrian age for the upper Bambuí Group, Brazil, supported by the first U-Pb dating of volcanoclastic bed, *Journal of South American Earth Sciences*, v. 99, 102503, ISSN 0895-9811.

Muller H. 1962. Report on palynological results of samples examined from wells in Maranhão. Salvador. *Petrobras*, Relatório n. 500.

Mutti, E., N. Mavilla, S. Angella, and L.L. Fava. 1999. An introduction to the analysis of ancient turbidite basins from an outcrop perspective. *AAPG Continuing Education Course*. **39**: 1–98.

Netto R.G. 1995. *A paleoicnologia como ferramenta de trabalho na sequência sedimentar Rio Bonito/Palermo*. Porto Alegre, PhD Thesis. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 272 p.

Netto R.G. 2001. Icnologia e estratigrafia de sequências. In: Severiano Ribeiro H.P.J. (edsEd.), *Estratigrafia de Sequências – Fundamentos e Aplicações*. Editora UNISINOS, São Leopoldo, p. 219-259 p.

Netto R.G. 2012. Evidences of life in terminal Proterozoic deposits of southern Brazil: asynthesis. In: Netto, R.G., Carmona, N.B., FMW, Tognoli (Eds.), *Ichnology of LatinAmerica - Selected Papers*. Monografias da Sociedade Brasileira de Paleontologia, Porto Alegre.

Noffke N., Gerdes G., Klenke T., Krumbein W.E. 1996. Microbially induced sedimentary structures – examples from modern sediments of siliciclastic tidal flats. *Zbl. Geol. Paläontol.* **1**:307-316.

Ponciano L.C.M.O., Castro A.R.S.F., Fonseca V.M.M., Machado D.M.C. 2012. Tafocenoses da Formação Pimenteira, Devoniano da Bacia do Parnaíba, Piauí: Mapeamento, Inventário e Relevância Patrimonial. *Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ*, **35**:05-27.

Porada H., Ghergut J., Bouougri E.H. 2008. Kinneyia-type wrinkle structures – critical review and model of formation. *Palaios*, **23**:65-77.

Reis, H.L.S, S; Alkmim, F.F, Fonseca, R.C.S.; Nascimento, T.C.; Suss, J.F.; Preveatti, L.D. 2017. The São Francisco Basin. In: Heilbron, M., Cordani, U., Alkmim F. (eds), *São Francisco Craton, Eastern Brazil. Regional Geology Reviews*, 117-143 p.

Retrum, J. B., S. T. Hasiotis, & R. L. Kaesler. 2011. Neoichnological experiments with the freshwater ostracode *Heterocypris incongruens*: Implications for reconstructing aquatic settings, *Palaios*, **26**:509-518.

Sanchez E.A.M., Uhlein A., Fairchild T.R., 2020. Treptichnus pedum in the Três Marias Formation, south-central Brazil, and its implications for the Ediacaran-Cambrian transition in South America, *Journal of South American Earth Sciences*, 02983, ISSN 0895-9811.

Sarjeant W.A.S. & Kennedy W. J., 1973. Proposal of a Code for the nomenclature of trace fossils. *Can. J. Earth Science*, **10**:460-475.

Seilacher A. 1953. Studien zur palichnologie I. über die methoden der palichnologie, *Neues Jahrbuch Geologie Palaontologie Abhandlungen*, **96**:421-452.

Seilacher A. 1955. Spuren und Lebensweise der Trilobiten. In: Schindewolf O.H, Seilacher, A. (eds.), *Beijträge zur Kenntnis des Kambriums in der Salt Range (Pakistan), Akademie der Wissenschaften und der Literatur zu Mainz, mathematisch, naturwissenschaftliche Klasse, Abhandlungen*, **10**:342-372.

Seilacher A. 1964. Biogenic sedimentary structures. In Imbrie J. & Newell N.D (eds.), *Approaches to paleoecology*. New York, John Wiley, 296 - 316 p.

Seilacher A. (eds.), 2007. *Trace Fossil Analysis*. Springer Berlin Heidelberg, New York, 238 p.

Shopf J.M. 1975. Modes of fossil preservation, *Rev. Paleobot. Palynol.*, **20**:27-23

Silva C.F., Fonseca V.M.M. 2005. Hábitos de vida das trilobitas das formações Maecuru e Ererê, Devoniano da Bacia do Amazonas, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **8**:73-82.

Silva R.C., Dominato V.H., Fernandes A.C.S. 2012. Novos registros e aspectos paleoambientais dos icnofósseis da Formação Pimenteira, Devoniano da Bacia do Parnaíba, Piauí, Brasil. *Gaea – Journal of Geoscience*, **8**:33-41.

Soares S.P. 2007. *Sistemática, tafonomia e paleoecologia de Trilobita, Phacopida (Homalonotidae, Calmoniidae), Formação Ponta Grossa (Devoniano), sub-bacia Apucarana, Estado do Paraná, Brasil*. MS Dissertation, São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Sommer F.W. 1971. Microfósseis do Calcário Bambuí de Pedro Leopoldo, Estado de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 43, n°1, Rio de Janeiro.

Tavares P.K. 2008. Trilobita (Artropoda) registrado na Formação Ponta Grossa, Devoniano da Bacia do Paraná: Preservação de aparelho digestivo piritizado. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Tavares T. D., De Souza Martins M., Alkmim F. F., Lana C. 2020. Detrital zircons from the Upper Três Marias Formation, São Francisco basin, SE Brazil: Record of foreland deposition during the Cambrian. *Journal of South American Earth Sciences*, 97, 102395.

Taylor A.M. & Goldring R. 1993. Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *Journal of the Geological Society*, **150**:141-148.

Trewin N.H. 1994. A draft system for the identification and description of arthropod trackways. *Palaeontology* **37**:811-823.

Tuller M.P., Ribeiro J.H., Signorelli N., Féboli W.L., Pinho J.M.M. 2010. Projeto Sete Lagoas-Abateté: *Folha Contagem (1:100.000)*. Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Belo Horizonte, 160 pp.

Uhlein, A., Lima, O.N.B., Fantinel, L.M., Baptista M.C. 2004. Estratigrafia e evolução geológica do Grupo Bambuí, Minas Gerais (Roteiro Geológico). In: SBG, CONGR. BRAS. GEOLCongresso Brasileiro de Geologia., 42, Araxá, Anais, CD-ROM. v.1 (1 vol). 2004.

Uhlein, G.J.; Uhlein, A.; Pereira, E.; Caxito, F.A.; Okubo, J.; Warren, L., V.; Sial, A. N., 2019.; Ediacaran paleoenvironmental changes recorded in the mixed carbonate-siliciclastic - Bambuí Basin Brazil. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **517**:39-51.

Vallon L.H., Rindsberg A.K., Bromley, R.G. 2015. An updated classification of animal behaviour preserved in substrates. *Geodinamica Acta* [on line first in August 2015 at DOI: 10.1080/09853111.2015.1065306]

Vieira L.C., Almeida R.P., Trindade R.I.F., Nogueira A.C.R., Janikian L. 2007a. A Formação Sete Lagoas em sua área tipo: fácies, estratigrafia e sistemas deposicionais. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**:1-14.

Walker, R.G., James, N.P., 1992. Facies Models: Response to sea level change. *Geological Association of Canada*. p 47-59 p.

Wang Y., Lin, J.P., Zhao Y.L., Orr P.J. 2009. Palaeoecology of the trace fossil *Gordia* and its interaction with nonmineralizing taxa from the early Middle Cambrian Kaili Biota, Guizhou province, South China: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **277**:141-148.

Warren L. V., Quaglio F., Riccomini C., Simões M.G., Poiré D.G., Strikis N.M., Anelli L.E., Strikis P.C. 2014. The puzzle assembled: Ediacaran guide fossil *Cloudina* reveals an old proto-Gondwana seaway. *Geology*. **42**:391-394.

Zalán P.V., Romeiro Silva P.C. 2007. Bacia do São Francisco. Cartas Estratigráficas, Bol. Geoc. *Petrobras*.



# Anexos

818

PALAEONTOLOGY, VOLUME 37

NAME
STRATIGRAPHY
LOCALITY
Preservation :
DESCRIPTION
<p>1. Trackway Width: External (E)</p> <p style="text-align: right;"><math>\frac{E}{I} =</math></p> <p style="text-align: center;">Internal (I)</p> <p>2. Imprint Morphologies / and orientations</p> <p>3. Track Rows :</p> <p>Simple    A No Series             B Series</p> <p>Compound A Not organised             B Organised - Imprint Series             C Organised - Imprint Groups             D Form of 'Complete Set'</p> <p>4. Repeat Distance R : <span style="float: right;"><math>\frac{E}{R} =</math></span></p> <p>5. Symmetry :</p> <p>6. Continuous Marks :</p> <p>7. Discontinuous Marks :</p> <p>    A Regular     B Irregular</p> <p>8. Trackway Curvature</p>
DRAWING - IDEAL FORM
DRAWING - TYPE
NOTES
COLLECTION AND NUMBER

TEXT-FIG. 4. Form for description of arthropod trackways (see text).

TREWIN: ARTHROPOD TRACKWAYS

<b>1 Trackway Width</b>		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr> <tr><td>&lt; 1cm</td><td>1-4</td><td>4-10</td><td>10-20</td><td>&gt; 20</td></tr> </table>					A	B	C	D	E	< 1cm	1-4	4-10	10-20	> 20																											
A	B	C	D	E																																							
< 1cm	1-4	4-10	10-20	> 20																																							
1.1	External Width - E																																										
		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr> <tr><td>1-1.5</td><td>1.5-2</td><td>2-2.5</td><td>2.5-3</td><td>&gt; 3</td></tr> </table>					A	B	C	D	E	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	> 3																											
A	B	C	D	E																																							
1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	> 3																																							
1.2	Ratio $\frac{\text{External}}{\text{Internal}} = \frac{E}{I}$																																										
<b>2 Imprints</b>		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th><th>F</th><th>G</th><th>H</th><th>J</th><th>K</th><th>L</th><th>M</th><th>N</th><th>P</th><th>Q</th></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>Other</td></tr> </table>											A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q																Other
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q																													
															Other																												
		MIDLINE																																									
		<table border="1"> <tr><th>V</th><th>W</th><th>X</th><th>Y</th><th>Z</th></tr> <tr><td>NONE</td><td>VAR.</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>					V	W	X	Y	Z	NONE	VAR.																														
V	W	X	Y	Z																																							
NONE	VAR.																																										
2.2	Imprint Orientation																																										
<b>3 Track Rows</b>		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				A	B	C	D	E						<table border="1"> <tr><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr> <tr><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>&gt; 5</td></tr> </table>				B	C	D	E	3	4	5	> 5																
A	B	C	D	E																																							
B	C	D	E																																								
3	4	5	> 5																																								
3.1	Simple No Series					Series																																					
		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				A	B	C	D	E						<table border="1"> <tr><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr> <tr><td>&lt; 5</td><td>5-10</td><td>11-20</td><td>&gt; 20</td></tr> </table>				B	C	D	E	< 5	5-10	11-20	> 20																
A	B	C	D	E																																							
B	C	D	E																																								
< 5	5-10	11-20	> 20																																								
3.2	Compound No Organisation					Imprints/E																																					
		<table border="1"> <tr><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr> <tr><td>&lt; 5</td><td>5-10</td><td>11-20</td><td>&gt; 20</td></tr> </table>				B	C	D	E	< 5	5-10	11-20	> 20	<table border="1"> <tr><th>J</th><th>K</th><th>L</th><th>M</th><th>N</th><th>P</th><th>Q</th></tr> <tr><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7-12</td><td>13-20</td><td>&gt; 20</td></tr> </table>				J	K	L	M	N	P	Q	3	4	5	6	7-12	13-20	> 20												
B	C	D	E																																								
< 5	5-10	11-20	> 20																																								
J	K	L	M	N	P	Q																																					
3	4	5	6	7-12	13-20	> 20																																					
3.3	Compound, Organised					Imprints/E				Series																																	
		<table border="1"> <tr><th>J</th><th>K</th><th>L</th><th>M</th><th>N</th><th>P</th><th>Q</th></tr> <tr><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7-12</td><td>13-20</td><td>&gt; 20</td></tr> </table>				J	K	L	M	N	P	Q	3	4	5	6	7-12	13-20	> 20	<table border="1"> <tr><th>W</th><th>X</th><th>Y</th><th>Z</th></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>&gt; 4</td></tr> </table>				W	X	Y	Z	2	3	4	> 4	Groups											
J	K	L	M	N	P	Q																																					
3	4	5	6	7-12	13-20	> 20																																					
W	X	Y	Z																																								
2	3	4	> 4																																								
		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr> <tr><td>&lt; 0.8</td><td>0.8-1.2</td><td>1.2-1.6</td><td>1.6-2.0</td><td>&gt; 2.0</td></tr> </table>				A	B	C	D	E	< 0.8	0.8-1.2	1.2-1.6	1.6-2.0	> 2.0																												
A	B	C	D	E																																							
< 0.8	0.8-1.2	1.2-1.6	1.6-2.0	> 2.0																																							
4	Repeat Distance 'Stride' $R = \frac{E}{R}$																																										
<b>5 Symmetry</b>		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				A	B	C	D																																		
A	B	C	D																																								
		<p style="text-align: center;">Opposite      Alternate      Staggered      Asymmetric</p>																																									
<b>6 Continuous Marks</b>		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>&gt; 3</td><td></td></tr> </table>				A	B	C	D	E	1	2	3	> 3		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>&gt; 3</td></tr> </table>				A	B	C	D	1	2	3	> 3																
A	B	C	D	E																																							
1	2	3	> 3																																								
A	B	C	D																																								
1	2	3	> 3																																								
		Internal				Within																																					
		Internal				External																																					
<b>7 Discontinuous Marks</b>		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>&gt; 3</td><td></td></tr> </table>				A	B	C	D	E	1	2	3	> 3		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>&gt; 3</td></tr> </table>				A	B	C	D	1	2	3	> 3																
A	B	C	D	E																																							
1	2	3	> 3																																								
A	B	C	D																																								
1	2	3	> 3																																								
		Internal				Within																																					
		Internal				External																																					
7.1	Regular																																										
		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>&gt; 3</td><td></td></tr> </table>				A	B	C	D	E	1	2	3	> 3		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>&gt; 3</td></tr> </table>				A	B	C	D	1	2	3	> 3																
A	B	C	D	E																																							
1	2	3	> 3																																								
A	B	C	D																																								
1	2	3	> 3																																								
		Internal				Within																																					
		Internal				External																																					
7.2	Irregular																																										
<b>8 Trackway Curvature</b>		<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th><th>F</th></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>						A	B	C	D	E	F																														
A	B	C	D	E	F																																						
		<p style="text-align: center;">Straight      Gentle Curve      Looped      Meandering      Angular Change      Other</p>																																									

TEXT-FIG. 5. Form for the reduction of arthropod trackway descriptions to a format suitable for computer storage and comparison (see text).

PALAEONTOLOGY, VOLUME 37



Trackway Components	1		2		3			4	5	6	7	8
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3				7.1	7.2
<i>Trackways</i>												
A	B	C	BL	Y	-	-	CY	B	B	-	-	A
B	B	B	B	YZ	-	-	DY	D	B	-	-	A
C	C	D	A	V	-	-	CX	B	B	A	-	A
D	B	B	A	V	-	-	WX	BC	C	B	-	AB
E	C	B	BN	ZY	-	-	CL	A	A	-	-	AB
F	CD	B	BCFGY	XY	-	-	DN	A	A	-	A	AB
G	E	D	ACM	Y	-	-	DJ	D	A	A	-	A
H	D	B	ABCDF	XY	-	AE	-	-	A	-	-	AB

TEXT-FIG. 6. For legend see opposite.