

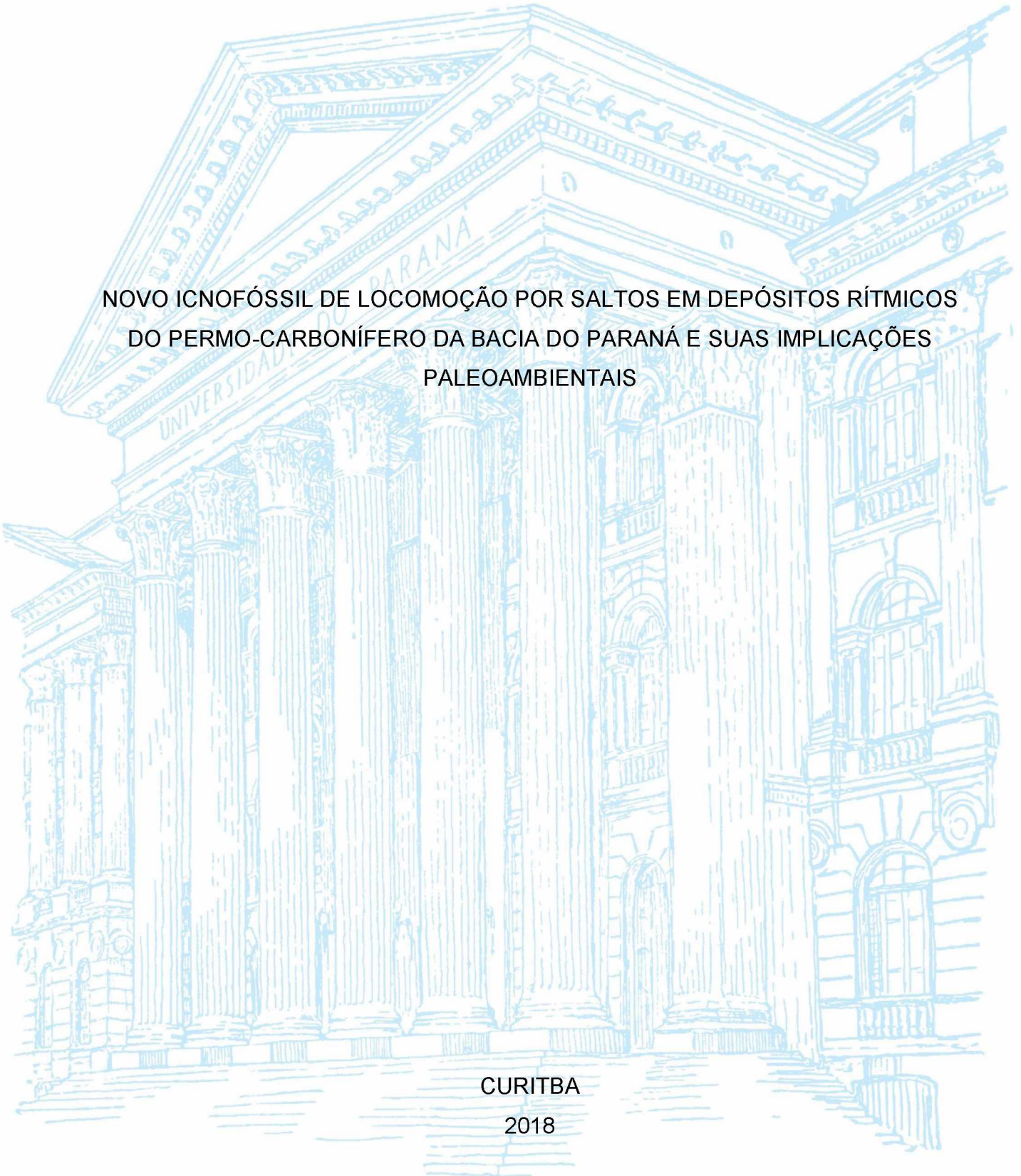
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DHIEGO CUNHA DA SILVA

NOVO ICNOFÓSSIL DE LOCOMOÇÃO POR SALTOS EM DEPÓSITOS RÍTMICOS  
DO PERMO-CARBONÍFERO DA BACIA DO PARANÁ E SUAS IMPLICAÇÕES  
PALEOAMBIENTAIS

CURITIBA

2018



DHIEGO CUNHA DA SILVA

NOVO ICNOFÓSSIL DE LOCOMOÇÃO POR SALTOS EM DEPÓSITOS RÍTMICOS  
DO PERMO-CARBONÍFERO DA BACIA DO PARANÁ E SUAS IMPLICAÇÕES  
PALEOAMBIENTAIS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geologia.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristina Silveira Vega

Co-orientador: Prof. Dr. Fernando Farias Vesely

CURITIBA

2018

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR  
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S586n

Silva, Dhiego Cunha da

Novo icnofóssil de locomoção por saltos em depósitos rítmicos do permocarbonífero da bacia do Paraná e suas implicações paleoambientais / Dhiego Cunha da Silva. – Curitiba, 2018.

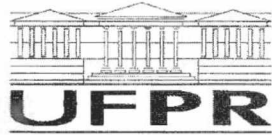
Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2018.

Orientadora: Cristina Silveira Vega – Coorientador: Fernando Farias Vesely. -

1. Fósseis. 2. Bacia do Paraná. 3. Icnologia . I. Universidade Federal do Paraná. II. Vega, Cristina Silveira. III. Vesely, Fernando Farias. IV. Título.

CDD: 560

Bibliotecária: Vanusa Maciel - CRB - 9/1928



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR CIÊNCIAS DA TERRA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GEOLOGIA

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **DHIEGO CUNHA DA SILVA** intitulada: **NOVA ICNOESPÉCIE DE TONGANOXICHNUS EM DEPÓSITOS RÍTMICOS DO PERMO-CARBONÍFERO DA BACIA DO PARANÁ E SUAS IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Agosto de 2018.

FERNANDO FARIAS VEELY

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

CAROLINA DANIELSKI AQUINO

Avaliador Externo (UFPR)

RENATA GUIMARÃES NETTO

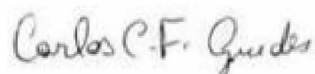
Avaliador Externo (UNISINOS)



# DECLARAÇÃO

Declaramos para os devidos fins que **Dhiego Cunha da Silva** realizou sua defesa de dissertação intitulada “*Nova icnoespécie de tonganoxichnus em depósitos rítmicos do permo-carbonífero da Bacia do Paraná e suas implicações paleoambientais*” em 28 de agosto de 2018, no Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná, área Geologia Exploratória, nível Mestrado, e que por sugestão da banca examinadora, o título foi alterado para “*Novo icnofóssil de locomoção por saltos em depósitos rítmicos do permo-carbonífero da Bacia do Paraná e suas implicações paleoambientais*”.

Curitiba, 17 de janeiro de 2019



**Carlos Conforti Ferreira Guedes**  
Coordenador do Programa  
Pós-Graduação em Geologia

A minha mãe Zuleide e ao meu Pai Celso, que sempre me apoiaram nas  
minhas decisões.

## **AGRADECIMENTOS**

- Agradeço aos meus pais, Zuleide e Celso, pela motivação e apoio que mantiveram durante minha trajetória.
- À Tamara que sempre me ajudou nos momentos mais turbulentos e me alegra com um sorriso inigualável dia após dia.
- À minha orientadora Cristina Vega, que me possibilitou desenvolver esse trabalho e me permitiu a entrada no mundo da Paleontologia.
- À toda equipe do LABPALEO, em especial à Francine, Jennyfer, Raíssa, Malton e Robson, que me explicaram, me ajudaram e me aguentaram durante o período desta pesquisa.
- À Daniele Danielle Schemiko-Pereira, pelo suporte geológico durante as atividades de campo.
- À professora Dr.<sup>a</sup> Renata Guimarães Netto e ao Dr. João Henrique Dobler Lima, que me auxiliaram no refinamento da pesquisa.
- À CAPES pelo financiamento da bolsa de estudos.

*Life breaks free. Life expands to new territories. Painfully, perhaps even dangerously. But life finds a way. I don't mean to be philosophical, but there it is.*

(Jeff Goldblum, em Jurassic Park, 1993.)

## RESUMO

A icnologia é fundamental para entender a energia do meio, a oxigenação, a salinidade e a consistência do substrato, que raramente são resolvidas por outros campos como a sedimentologia ou estudos de macro fósseis. O Grupo Itararé é uma unidade litoestratigráfica do Cisulariano-Pernsilvaniano da Bacia do Paraná, a área de estudo deste trabalho corresponde a Formação Rio do Sul, unidade superior do Grupo Itararé. Esta Formação exibe um conjunto diversificado de icnofósseis preservados em ritmitos de argila e silte. Nessas camadas observam-se icnotáxons, como *Cruziana problemática*, *Diplichnites gouldi*, *Glaciichnium isp.*, *Gluckstadtella elongata*, *Helminthoidichnites tenuis*, *Mermia carickensis*, *Protovirgularia dichotoma*, *Treptichnus pollardi* e *Umfolozia sinuosa*. Até agora, nenhum macro fósil foi descrito nesses estratos, no entanto diferentes tipos de crustáceos e insetos são propostos como os produtores das trilhas e escavações presentes nesta seção. Este trabalho evidencia o primeiro registro de uma trilha de saltos com alto nível de preservação. Este estudo revisa sistematicamente os dados obtidos nas amostras, visando propor os prováveis produtores, interpretar os comportamentos dos organismos geradores e sugerir implicações paleoambientais.

Palavras-chave: Icnologia. Grupo Itararé. Trilha-em-saltos. Bacia do Paraná. Icnofóssil-de-reposo.



## ABSTRACT

Ichnology is fundamental to understand the environmental energy, oxygenation, salinity and substrate consistence, which are rarely resolved by others fields like field-based sedimentology or body-fossil studies. The Itararé Group is a lithostratigraphic unit of the Pennsylvanian-Cisuralian of the Paraná Basin, the studied unit correspond to the topmost division of the Group, the Rio do Sul Formation. This Formation exhibits a diverse trace fossil assemblage preserved in rhythmite of silt and clay. In these layers, ichnotaxa such as *Cruziana problematica*, *Diplichnites gouldi*, *Glaciichnium isp.*, *Gluckstadtella elongata*, *Helminthoidichnites tenuis*, *Mermia carickensis*, *Protovirgularia dichotoma*, *Treptichnus pollardi* and *Umfolozia sinuosa* are observable. Until now, no body-fossils have been described at these rhythmite; however different kinds of crustaceans and insects are proposed as the most likely tracemakers of such ichnofossils. This work relates the first record of a well-preserved jumping trackway. Preserved in a rhythmite samples with invertebrate trails and resting traces. This study systematically reviews the data obtained from the sample, aiming to propose the probable producers, interpret the recorded behaviors and suggest paleoenvironmental implications.

Keywords: Ichnology. Itararé-Group. Jumping-trackway. Paraná-Basin. Resting-trace.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Área de estudo.....	19
FIGURA 2 – Histórico da nomenclatura estratigráfica do Grupo Itararé.....	20
FIGURA 3 – Tabela geocronológica, estratigráfica e perfil estratigráfico do Grupo Itararé.....	25
FIGURA 4 - <i>Microbially induced sedimentary structures</i> .....	27
FIGURA 5 - <i>Cruziana problematica</i> , <i>Diplichnites gouldi</i> e <i>Diplopodichnus biformis</i> ..	27
FIGURA 6 – <i>Protichnites isp</i> , <i>Cochlichnus anguineus</i> e <i>Gordia arcuata</i> .....	28
FIGURA 7 - <i>Gordia marina</i> , <i>Hormosiroidea meandrica</i> e <i>Undichnia consulca</i> . .....	29
FIGURA 9 - <i>Gluckstadtella elongata</i> e <i>Glaciichnium liebegastensis</i> .....	30
FIGURA 10 - <i>Mermia carickensis</i> , <i>Protovirgularia dichotoma</i> e <i>Umfolozia sinuosa</i> . .	31
FIGURA 11 - <i>Kouphichnium isp.</i> , <i>Maculichna varia</i> e <i>Nereites isp.</i> .....	31
FIGURA 12 – <i>Cruziana isp.</i> , <i>Tonganoxichnus isp.</i> .....	32
FIGURA 13 –Fósseis de estruturas frágeis da Fm. Rio do Sul .....	33
FIGURA 14 – Invertebrados da Formação Rio do Sul .....	34
FIGURA 15 – Plantas fósseis da Formação Rio do Sul .....	35
FIGURA 16 – Fósseis de Vertebrados da Formação Rio do Sul.....	38
FIGURA 17 – Amostra UFPR 0042 IC A – Holótipo <i>Sarilichnus isp.</i> .....	40
FIGURA 18 – Amostras UFPR 0042 IC B, UFPR 042IC C e UFPR 0042IC D.....	41
FIGURA 19 – Amostras UFPR 043IC, UFPR 0044IC A, UFPR 44IC B e UFPR 45IC .....	42
FIGURA 20 – Ambiente deposicional do topo da Formação Rio do Sul .....	61

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 TEMA DA PESQUISA .....	16
1.2 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO .....	17
1.3 TRABALHOS PALEONTOLÓGICOS DO GRUPO ITARARÉ: FÓSSEIS DE VERTEBRADOS, INVERTEBRADOS E ICNOFÓSSEIS. ....	26
1.3.1 Formação Campo do Tenente.....	26
1.3.2 Formação Mafra .....	27
1.3.2.1 Icnofósseis da Formação Mafra.....	27
1.3.2.2 Fósseis da Formação Mafra .....	29
1.3.3 Formação Rio do Sul.....	29
1.3.3.1 Icnofósseis da Formação Rio do Sul .....	29
1.3.4 Fósseis da Formação Rio do Sul .....	32
1.3.5 Invertebrados fósseis da Formação Rio do Sul.....	32
1.3.6 Plantas fósseis do Grupo Itararé .....	35
1.3.7 Vertebrado da Formação Rio do Sul .....	37
1.4 OBJETIVOS .....	38
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
<b>2 RESULTADOS</b> .....	<b>43</b>
2.1 ABSTRACT .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
2.2 INTRODUCTION .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
2.3 GEOLOGICAL SETTING AND ASSOCIATED ICHNOFAUNA .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
2.4 MATERIAL AND METHODS .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
2.5 ICHNOLOGY SYSTEMATIC .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
2.6 DISCUSSION .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
2.6.1 Sedimentary structures and trace fossil.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.6.2 Jumping trackway.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.6.3 Paleoenvironment implications.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.7 CONCLUSION .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
2.8 ACKNOWLEDGMENTS .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
2.9 REFERENCES .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
2.10 RESULTADOS COMPLEMENTARES .....	60

<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA DA PESQUISA

Nos últimos anos, a icnologia mostrou-se um meio indispensável para balizar e refinar trabalhos de cunho paleoambiental. Quando aplicada a estudos de ambientes de sedimentação sob influência glacial, esta técnica mostrou-se de alta eficiência, como demonstrado por Netto et al. (2012). Em um contexto permo-carbonífero gonduânico, os trabalhos de Nogueira & Netto (2001a), Netto et al. (2009) e Lima et al. (2015) inferiram paleoambientes a partir de correlações icnológicas e faciológicas. E com uma abordagem diferente, trabalhos de percepção sedimentológica também sugeriram ambientes deposicionais (SCHNEIDER et al. 1974; ROCHA-CAMPOS et al. 1981; FRANÇA & POTTER 1988; CANUTO 1993; SUSS et al. 2014).

A falta de integração entre os diferentes métodos de estudo pode resultar em interpretações paleoambientais discrepantes. A partir de estudos icnológicos, o ambiente do topo da Formação Rio do Sul, Grupo Itararé, foi pioneiramente diagnosticado como ambiente lacustre com influência glacial (DIAS-FABRÍCIO & GUERRA-SOMMER 1989; MARQUES-TOIGO et al. 1989). Posteriormente, a partir de uma abordagem mais robusta, Nogueira & Netto (2001a) propuseram deposição em ambiente de baía costeira, com períodos de restrição devido ao aumento da cobertura de gelo na lâmina d'água, meio sugerido pela conotação de uma icnofácies *Scoyenia* e presença de *Tasmanites*.

Estudos mais recentes, como o de Lima et al. (2015), reinterpretaram os trabalhos anteriores feitos para o topo da Formação Rio do Sul, e diagnosticaram os icnofósseis em nível de icnoespécie, sugerindo um ambiente como corpos de água rasa, possivelmente continental, influenciada por águas de degelo e em meio glacio lacustre, constituído por lagoas rasas próximas a um contexto marinho marginal. Posteriormente o trabalho de Lima et al. (2017) empregou métodos de neoicnologia para sugerir os organismos produtores dos traços presentes nos estratos superiores da Formação Rio do Sul, e sugeriu que o ambiente de sedimentação destes era constituído por um meio aquoso dinâmico, com mudanças físicas e químicas, que alterariam as condições da biota residente.

Diferente dos trabalhos paleontológicos, as interpretações de pesquisas focadas em sedimentologia apontam resultado às vezes concordante às vezes não.



Uma das principais pesquisas, foi um estudo de Schneider et al. (1974), que fez uma revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. Para o topo da Formação Rio do Sul, aflorante no estado de Santa Catarina, este trabalho elenca que os ritmitos foram formados em águas rasas sob a influência de marés. Em seguida, França & Potter (1988) através de estudos utilizando perfis de poços sugerem que o ambiente do Membro Rio do Sul (equivalente à Formação Rio do Sul de Schneider et al. (1974)), seria predominantemente marinho, possivelmente marinho profundo. Com o avançar das pesquisas, Santos et al. (1992) elencaram a possibilidade de que o ritmito tenha sido formado em um entalhe ou embaçamento costeiro, isolado por oscilação do nível do mar e dominado pelo influxo de água doce. Com uma perspectiva similar, Castro et al. (2000) mencionou que os estratos da porção Sul do Itararé, condicionavam um ambiente marinho raso, diferindo da visão demonstrada por Suss et al. (2014), que elencam um ambiente marinho profundo para o Grupo Itararé.

A partir destas divergências sobre o ambiente de sedimentação do topo da Formação Rio do Sul, o estudo dos icnofósseis provenientes desta seção, tanto em amostras quanto in loco, somado a análises faciológicas, permitiram a interpretação do paleoambiente do local de estudo, demonstrando que a análise integrada da icnologia com a sedimentologia é sempre o melhor caminho para inferências paleoecológicas e para refinar interpretações paleoambientais.

## 1.2 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

O local de estudo está inserido na bacia sedimentar do Paraná, região deposicional que abrange uma extensa porção do continente sul-americano, e inclui segmentos do território brasileiro, paraguaio, argentino e uruguaio, totalizando uma área de aproximadamente 1,5 milhões de km<sup>2</sup>.

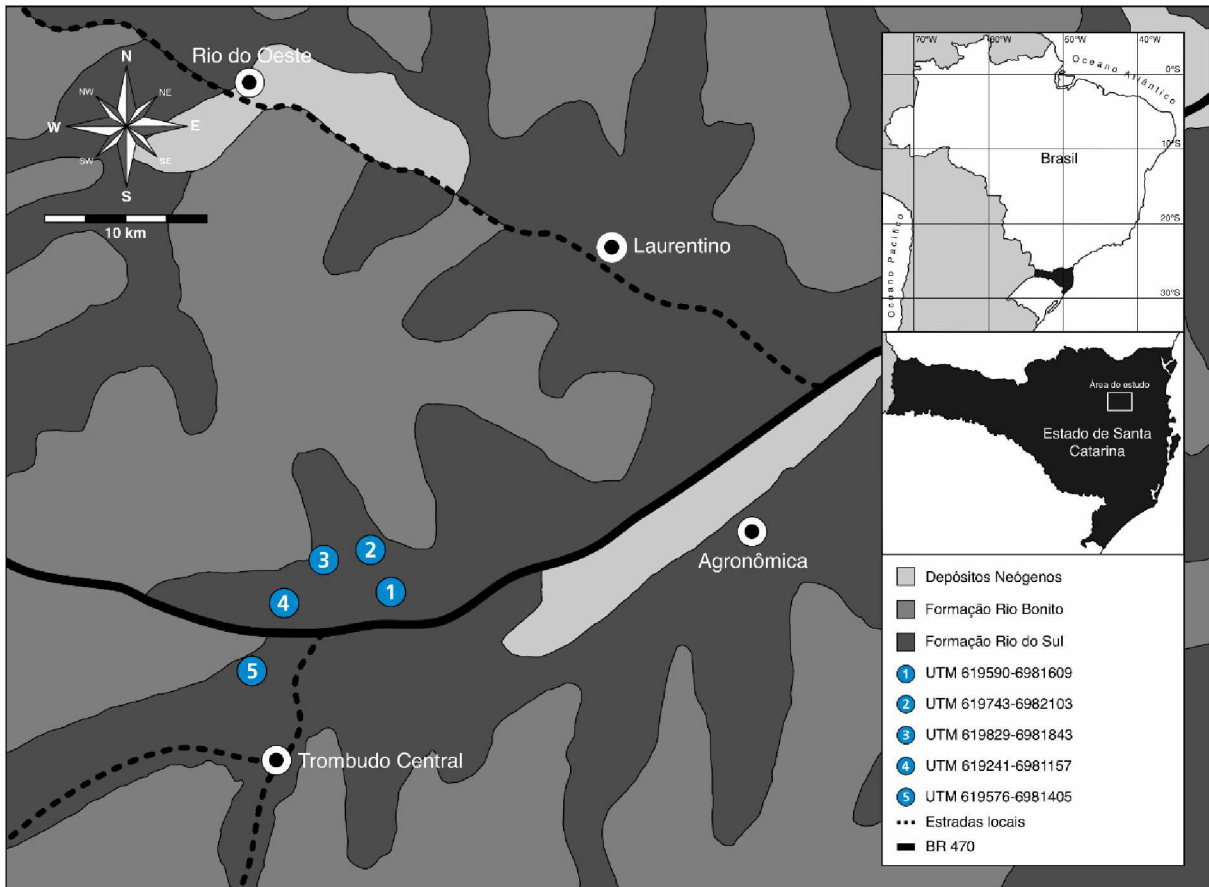
Milani et al. (2007) descrevem esta bacia sedimentar como uma forma ovalada, com eixo maior orientado na direção norte-sul, e tem seu contorno limitado por ações erosivas, ligadas a ações geotectônicas do Meso-cenozoico. A parte leste da bacia, que compreende o sudeste do Brasil e o norte do Uruguai, demonstra um modelamento erosivo em função do soerguimento crustal do rifte do Atlântico sul. Já o flanco ocidental da bacia é caracterizado por uma feição estrutural positiva, com orientação norte-sul, sobre um bulge flexural relacionado à enorme carga litológica imposta ao continente pelo cinturão orogênico andino. Neste mesmo sentido, Milani

et al. (2007) descreveram que acima desta deformação, encontra-se a região do Pantanal Mato-Grossense e o Arco de Asunción. À sudeste da bacia, há um prolongamento para o Uruguai e Argentina, enquanto no limite norte-nordeste sugere-se uma deposição sem alteração, visto a natureza arenosa das variadas unidades sedimentares.

Por meio de estudos estratigráficos, a Bacia do Paraná foi subdividida por Milani et al. (2007) em seis supersequências, sendo elas: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). As três primeiras são compostas por rochas de origem marinha que sugerem ciclos transgressivos-regressivos do nível do mar Paleozoico-Mesozoico, e as demais divisões correspondem a depósitos sedimentares continentais mesozoicos com associações de rochas ígneas.

A área de estudo deste trabalho encontra-se nas proximidades da cidade de Trombudo Central em Santa Catarina (FIGURA 1), dentro da unidade estratigráfica denominada Grupo Itararé, que pertence à Supersequência Gondwana I, estrato predominantemente preenchido por rochas paleozoicas, e possui a maior continuidade vertical de litotipos preservados da bacia, com cerca de 2.500 m (Milani et al. 2007).

FIGURA 1 – Área de estudo



Fonte: Adaptado a partir de Lima et al. (2015)

Estes estratos gonduânicos têm sido constantemente estudados, principalmente devido à presença de hidrocarbonetos, tanto óleo quanto gás (Arab et al. 2009). Como fruto destas pesquisas, Vesely (2006) elaborou um levantamento dos principais trabalhos realizados sobre o Grupo Itararé e demonstrou que diversos modelos estratigráficos já foram construídos para a seção. Além disso, o autor fez um resgate sobre os principais trabalhos que auxiliam na interpretação destes estratos (FIGURA 2)

FIGURA 2 – Histórico da nomenclatura estratigráfica do Grupo Itararé

1	White 1908	2	Oliveira 1916	3	Gordon 1947	4	Barbosa & Almeida 1948				
Série Tubarão	Fm. Rio Bonito	Série Itararé	Série Tubarão	Série Tubarão	Grupo Guatá	Série Tubarão	Série Tubarão				
	Conglomerado glacial Orleans							Depósitos glaciais	Fm. Taió	Fm. Itapetinga	
	Arenitos e folhelhos									Fm. Palmira	Fm. Tietê
Fm. Gramadinho											
Fm. Capivari											
Fm. Itu											
5	Lange 1954	6	Barbosa e Gomes 1958	7	Rocha-Campos 1967	8	Schneider et al. 1974				
Série Tubarão	Grupo Guatá	Série Tubarão	Série Tubarão	Grupo Tubarão	Subgrupo Guatá	Supergrupo Tubarão	Supergrupo Tubarão				
								Grupo Itararé	Fm. Itapetinga	Subgrupo Itararé	Grupo Itararé
	Fm. Teixeira Soares								Fm. Tietê		
Fm. Palmeira	Fm. Gramadinho	Fm. Campo do Tenente									
	Fm. Capivari										
	Fm. Elias Fausto										
Fm. Itu											
9	França & Potter 1988	10	Milani et al. 1994	11	Vesely & Assine 2004						
Grupo Itararé	Fm. Taciba	Fm. Taciba	Fm. Taciba	Fm. Taciba	Fm. Taciba	Fm. Taciba	Seqüência 5				
								Mb. Rio do Sul / Mb. Chapéu do Sol	Mb. Rio do Sul / Mb. Chapéu do Sol	Mb. Rio do Sul / Mb. Chapéu do Sol	
	Mb. Rio Segredo	Mb. Rio Segredo	Mb. Rio Segredo								
	Fm. Campo Mourão	Mb. Lontras	Mb. Lontras	Mb. Lontras							
Fm. Lagoa Azul	Mb. Tarabaí	Mb. Tarabaí	Mb. Tarabaí								
	Mb. Cuiabá Paulista	Mb. Cuiabá Paulista	Mb. Cuiabá Paulista								
							Seq.4				
							Seq.3				
							Seq.2				
							Seq.1				

Fonte: Vesely (2006)

Entre os trabalhos comentados acima, elenca-se a pesquisa de Schneider et al. (1974). Neste estudo, os autores caracterizam o Grupo Itararé em 4 formações, da base para o topo, denominadas Formação Campo do Tenente, Formação Mafra, Formação Rio do Sul e Formação Aquidauana, sendo que esta última ocorre apenas nos estados de Mato Grosso, Goiás e nordeste de São Paulo.

Schneider et al. (1974) elencaram que a Formação Campo do Tenente possui uma espessura de aproximadamente 200 m em sua área tipo, estendendo-se da cidade de São Bento do Sul (SC) até o arco de Ponta Grossa (PR). Seus litotipos são

caracterizados por argilitos castanho-avermelhados, com laminação plano-paralela. Também são descritos ritmitos e diamictitos de matriz arenosa. Em determinadas localidades são reconhecidos arenitos amarelados, finos e médios, mal selecionados e com estratificação planoparalela, cruzada e acanalada. Junto a isso, estrias glaciais também são descritas nessa formação.

A Formação Mafra é constituída principalmente por arenitos esbranquiçados, amarelados e vermelhos de granulação variada, podendo ocorrer arenitos finos, bem selecionados com laminação ondulada e estratificação planoparalela. Há também arenitos médios e grossos com estratificação cruzada acanalada, seccionadas com feições de cortes e preenchimento. Foram identificados diamictitos, conglomerados, ritmitos, argilitos e argilitos várvidos. Sua seção tipo encontra-se no município de Presidente Prudente (SC), e possui aproximadamente 350 metros de espessura. Estima-se que o contato com a Formação Campo do Tenente seja discordante, também há localidades onde o contato é encontrado sob as formações Furnas e Ponta Grossa (SCHNEIDER et al. 1974).

As rochas da Formação Rio do Sul são caracterizadas por uma porção basal de folhelhos e argilitos cinza escuros, de aspecto várvidos denominados de Folhelho Lontras em Santa Catarina e Folhelho Guaraúna no Paraná. A parte superior da Formação Rio do Sul é constituída de arenitos finos e diamictitos, folhelhos várvidos, ritmitos e argilitos. Em sua área tipo, a Formação Rio do Sul atinge até 350 m de espessura, diminuindo gradativamente em direção ao norte. O contato inferior com a Formação Mafra é concordante, sendo que na porção sudeste de Santa Catarina o sedimento é encontrado sobre o embasamento. O contato superior com a Formação Rio Bonito é concordante, exceto à nordeste do Paraná e São Paulo.

Outro trabalho de grande importância para compreensão dos processos deposicionais do Grupo Itararé foi a pesquisa de França & Potter (1988). Os autores se utilizaram de correlações de perfis de poços profundos, para sugerir que o Grupo Itararé fosse subdividido em 3 diferentes Formações: Formação Lagoa Azul, Formação Campo Mourão e Formação Taciba, da base para o topo.

A Formação Lagoa Azul compõe a base do Grupo Itararé e é composta por arenitos acinzentados, siltitos e lamitos seixosos. Esta formação comumente sobrepõe estratos do Grupo Paraná e em algumas localidades encontra-se sob o embasamento. Os autores ainda elencam que sua espessura máxima é de até 560 metros. Esta formação foi dividida em 2 membros, na base denominado Cuiabá



Paulista (arenitos, siltito e raramente lamitos seixosos) e no topo Tarabaí (diamictitos, folhelhos e arenitos).

Para a Formação Campo Mourão, os autores a descrevem como uma unidade predominantemente arenosa, mas que contém também folhelho, siltito e lamitos seixosos com espessura máxima de até 927 m. A formação assenta-se sob o estado do Rio Grande do Sul e Sudeste de Santa Catarina, e nos estados de Goiás, Mato Grosso e na maioria de Santa Catarina se sobrepõem ao Grupo Paraná. Nos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul, se assenta sob a Formação Lagoa Azul. Os autores ainda elencam que os arenitos desta Formação são compostos por granulações grossas e médias, com presença de feldspato e fragmentos de rochas. Também há relatos de clastos de folhelhos, conglomerados com clastos acinzentados e matações. Os siltitos são acinzentados e podem conter seixos de granitos.

No contexto da Formação Campo Mourão, França e Potter (1988) sugerem que o Folhelho Lontras, descrito por Schneider et al. (1974) tivesse a categoria alterada para Membro da Formação Campo Mourão, saindo da base da Formação Rio do Sul.

A Formação Taciba é composta por lamitos seixosos, arenito, folhelho e siltito com espessura máxima descrita de 420 m. A sobreposição desta formação sob a Formação Campo Mourão é concordante em toda sua extensão, menos nas proximidades do Arco Sul Rio-Grandense, onde encontra-se sob o embasamento. Para França & Potter (1988) o contato superior com o Grupo Guatá é concordante em quase toda bacia, exceto na porção Nordeste do Paraná e no estado de São Paulo. Os autores dividem esta Formação nos membros Rio Segredo, Chapéu do Sol e Rio do Sul.

Os litotipos dominantes do Membro Rio Segredo são arenitos cinza maciços, com granulação média a grossa, intercalados com siltitos bioturbados. Os autores também relatam a presença de arenito fino a muito fino com laminação cruzada, laminação cavalgante e micro falhas.

O Membro Chapéu do Sol foi caracterizado predominantemente por lamitos seixosos e raros corpos arenosos. Esta seção ocorre nos estados de São Paulo, e na parte oeste dos estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul e partes do estado do Mato Grosso do Sul.

Sobre o Membro Rio do Sul, o mesmo foi caracterizado como composto por argilitos, folhelhos, arenitos finos, ritmitos e diamictitos. Foram identificadas feições

com laminações cruzadas, laminação planoparalela, laminação convoluta e estruturas de escorregamento, além de marcas de ondas principalmente em estratos do estado de Santa Catarina. Para este membro, os autores sugerem um ambiente deposicional marinho, a partir da interpretação do conjunto fossilífero que é composto por braquiópodes, crinoides, foraminíferos e orbiculoides. Além disso outro fator que contribui para inferência foi a presença de clastos caídos nos folhelhos várvidos, que foram interpretados como *dropstones* de icebergs.

Canuto (1993) realizou um trabalho com enfoque principal na Formação Rio do Sul e evidenciou diversas fácies sugerindo seus ambientes de sedimentação. Essas fácies foram descritas compostas principalmente por conglomerados, arenito, folhelho, arenito muito fino a folhelho siltico, diamictitos e ritmitos. Sobre os conglomerados o autor identificou feições com clastos de diferentes tamanhos, interpretando o paleoambiente como depósitos proximais de canais de alimentação.

Foram identificados arenitos maciços, tabulares ou acanalados com clastos dispersos, transportados através de fluxos gravitacionais de massa. Em outras localidades, identificou-se um arenito mal selecionado conglomerático, inferido como produto de deslizamento subaquático. Também foram descritos arenitos finos, com estratificação planoparalela e cruzada planar a tangencial sugeridas como depósitos flúvio-deltaicos subaquáticos originados por degelo de frente glacial.

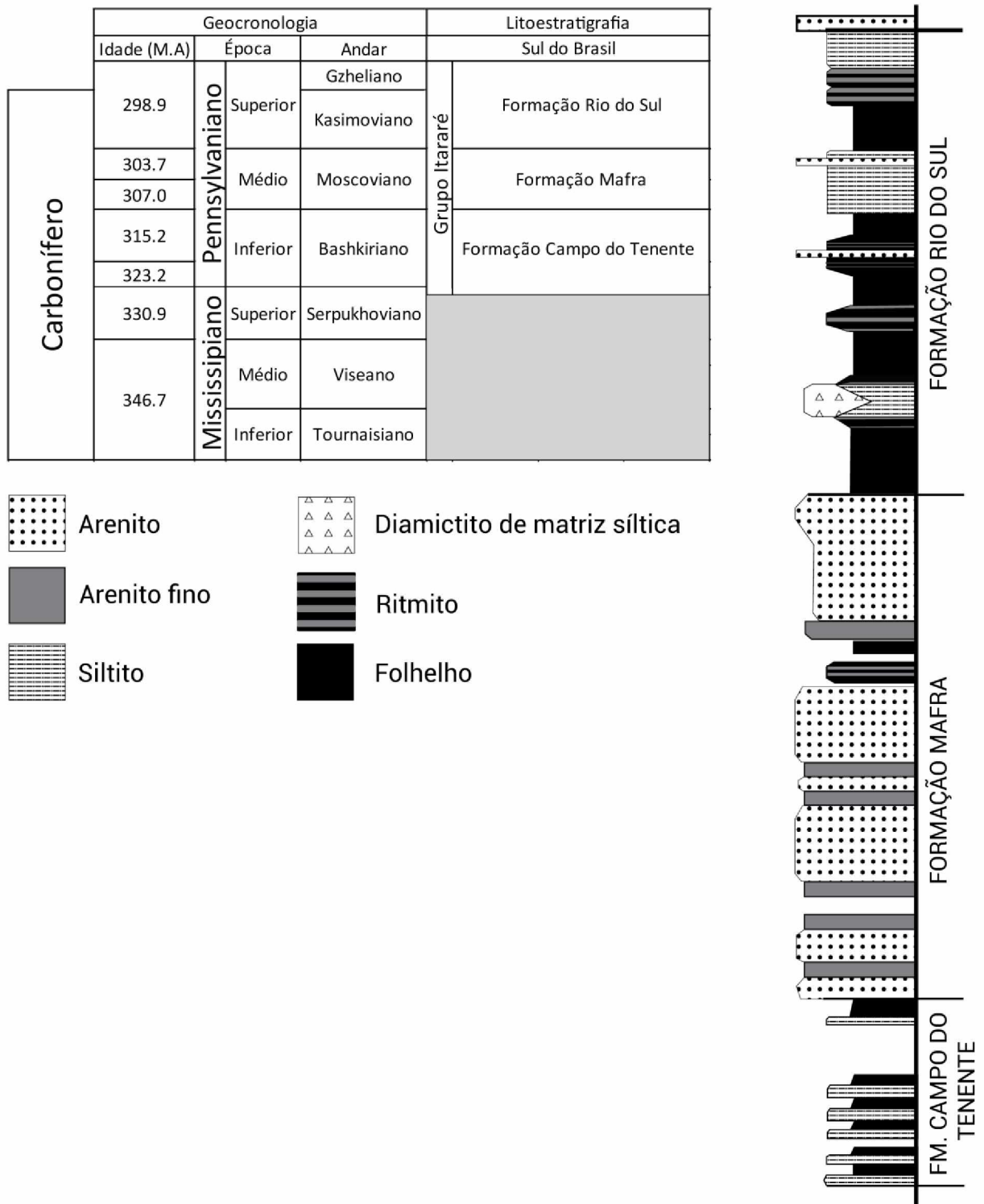
Os folhelhos apresentam cor escura, e foi relatada a presença de clastos caídos, onde Canuto (1993) infere como depósito subaquático de suspensão, provavelmente marinho. Os clastos caídos foram identificados como corpos carregados por massas de gelo flutuante, na forma de icebergs. Os diamictitos foram descritos como tabulares, maciços, resultantes do processo de transporte de geleiras. Há também diamictitos com estruturas acanaladas, provavelmente originados por evento de transporte em massa.

Canuto (1993) descreveu os ritmitos com laminações regulares de silte e argila, com estratificação planoparalela que gradam para folhelho negro, interpretado como reflexo de deposição sazonal, elencando o estrato como varvito. Além disso, foram notados clastos caídos e “pelotas e montículos” liberados por massa de gelo. Também foram descritos icnofósseis e corpos algais entre as camadas do ritmito. Para este segmento o autor identifica que as feições sugerem ambiente marinho com corpo d’água de grande espessura.

Trabalhos posteriores ao supracitado também demonstram as feições da Formação do Rio do Sul e inferem seu paleoambiente. Castro et al. (2000) elencam que a Formação Rio do Sul é caracterizada por depósitos glaciais compostos por folhelhos, ritmitos, arenitos e diamictitos. Os autores relatam que os depósitos são compostos por ciclos transgressivos-regressivos que iniciam na base da formação com o Folhelho Lontras, que foram depositados em um ambiente marinho profundo. O segundo ciclo é composto por *thin-bedded turbidites*, demonstrando um momento de regressão com depósitos flúvio-deltaicos. O terceiro ciclo foi descrito com feições diferentes nas porções norte e sul, no norte foram inferidas fácies de depósitos marinhos, glacio-marinhos e deltaicos que gradam concordantemente para estratos da base do Grupo Guatá. A porção sul foi interpretada como um processo transgressivo, onde depósitos marinhos rasos foram sobrepostos por fácies deltaicas do Membro Triunfo.

A partir desta breve contextualização, o modelo estratigráfico adotado neste projeto será o de Schneider et al. (1974) (FIGURA 3) pois o local estudado neste trabalho permeia o mesmo utilizado para determinação de sua área tipo.

FIGURA 3 – Tabela geocronológica, estratigráfica e perfil estratigráfico do Grupo Itararé.



Fonte: Tabela adaptada de Lima et al. (2015) e perfil estratigráfico adaptado de Schneider et al. (1974).

### 1.3 TRABALHOS PALEONTOLÓGICOS DO GRUPO ITARARÉ: FÓSSEIS DE VERTEBRADOS, INVERTEBRADOS E ICNOFÓSSEIS.

O levantamento bibliográfico de fósseis e icnofósseis descritos para o Grupo Itararé auxilia na compreensão dos paleoambientes onde esses organismos e seus traços foram gerados. Os fósseis e icnofósseis aqui demonstrados, serão apresentados de acordo com a formação em que foram encontrados, da base para o topo.

#### 1.3.1 Formação Campo do Tenente

A base do Grupo Itararé, a Formação Campo do Tenente, apresenta uma baixa representatividade fossilífera. Durante as etapas desta pesquisa, não foram encontrados trabalhos publicados em periódicos relatando fósseis ou icnofósseis para esta seção. As únicas pesquisas apresentadas para a Formação Campo do Tenente foram as de Antunes & Vesely (2016, 2017) que sugerem a ocorrência de MISS (*microbially induced sedimentary structures*) para as rochas destes estratos. De acordo com Noffke et al. (2001), essas estruturas são resultantes da interação de cianobactérias com o sedimento, onde esses organismos secretam um muco que interage com os agentes físicos do meio, como erosão e transporte, alterando assim as características de deposição.

A carência de estudos paleontológicos para esta seção, dificulta a sugestão mais precisa do ambiente de sedimentação. Neste caso, espera-se que futuros trabalhos possam ser realizados para contribuir com essa lacuna, e assim novas inferências possam ser feitas.



FIGURA 4 - *Microbially induced sedimentary structures*

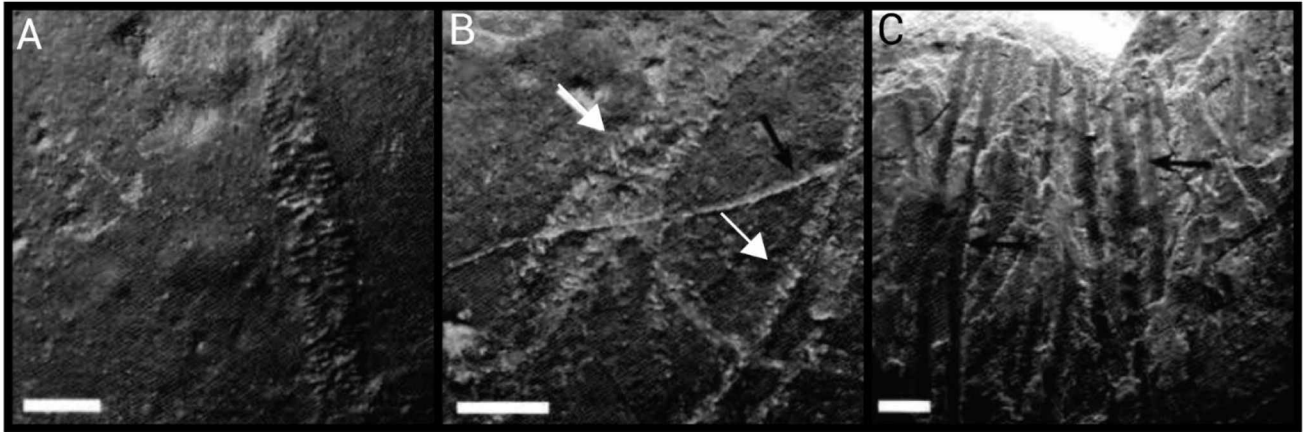
Fonte: (Antunes & Vesely 2017)

### 1.3.2 Formação Mafra

#### 1.3.2.1 Icnofósseis da Formação Mafra

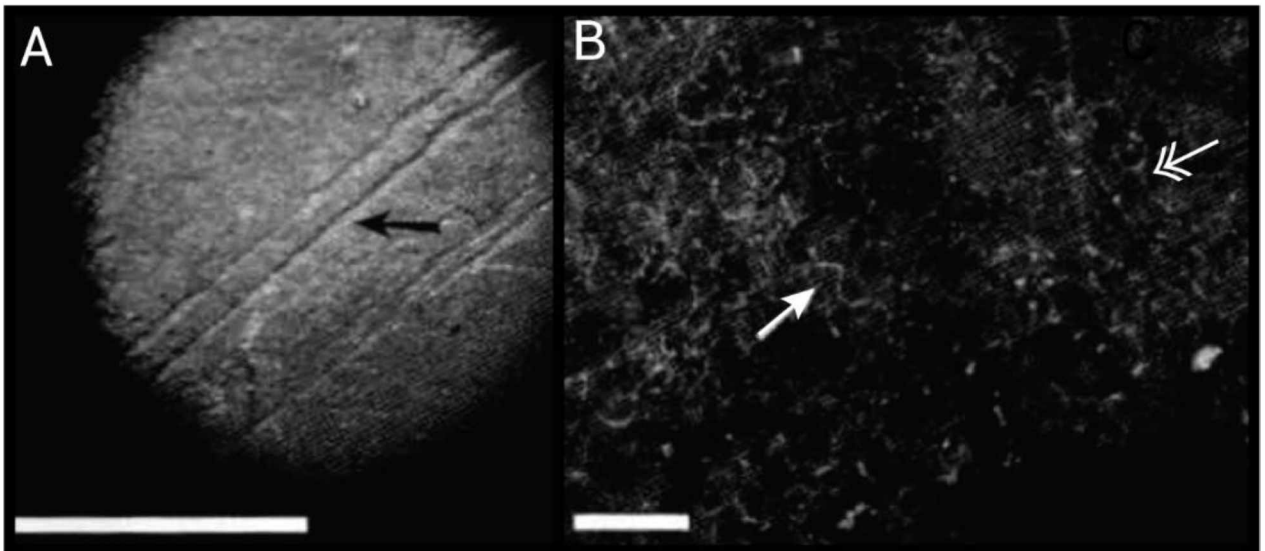
O conteúdo fossilífero da Formação Mafra é distribuído entre uma baixa representatividade de fósseis, e icnofósseis de relativa diversidade e alto nível preservacional. O conteúdo icnofossilífero desta formação é constituído de trilhas de artrópodes e escavações de organismos vermiformes, de acordo com Balistieri et al. (2002, 2003) e Netto et al. (2009), os ictáxons presentes neste formação são: *Cruziana problematica*, *Diplichnites gouldi*, *Diplopodichnus biformis*, *Protichnites isp*, *Cochlichnus anguineus*, *Gordia arcuata*, *Gordia marina*, *Hormosiroidea meandrica*, *Rusophycus carbonarius*, *Undichnia consulca*, *Helminthoidichnites tenuis*, *Treptichnus pollardi*.

FIGURA 5 - *Cruziana problematica*, *Diplichnites gouldi* e *Diplopodichnus biformis*



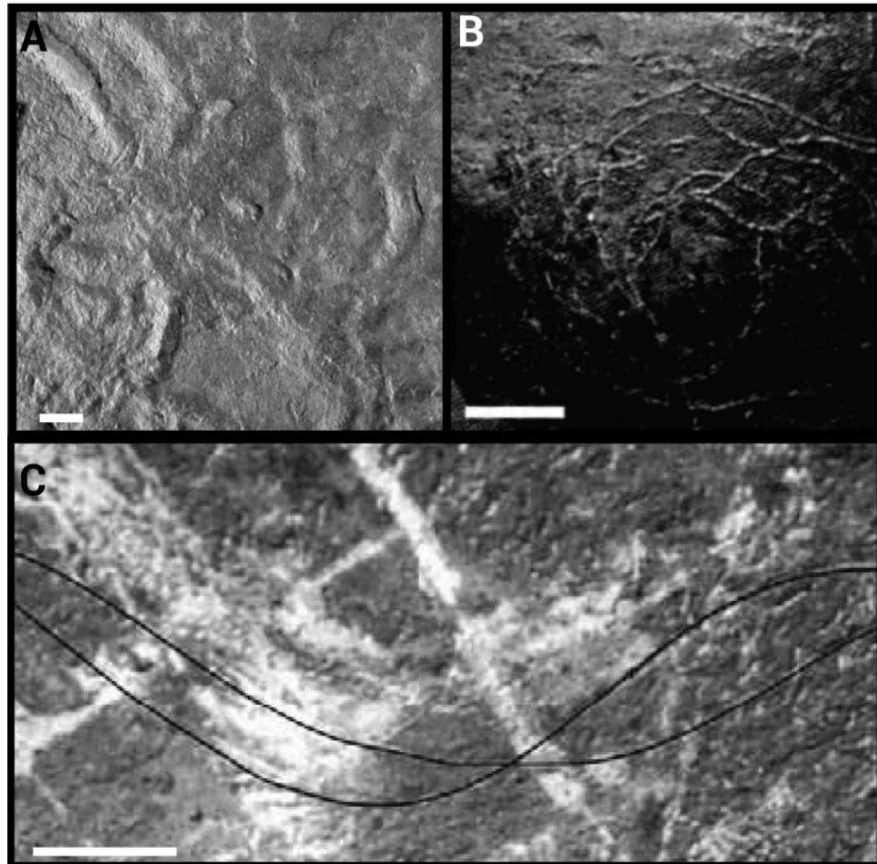
Fonte: Balistieri et al. (2002). Legenda: A) *C. problematica*. B) *D. gouldi* apontado por setas brancas. C) *D. biformis*. Escalas: 5 mm.

FIGURA 6 – *Protichnites isp*, *Cochlichnus anguineus* e *Gordia arcuata*



Fonte: Balistieri et al. (2002). Legenda: A) *Protichnites*. B) *Cochlichnus anguineus*, seta branca e *Gordia arcuata* indicada por seta dupla. Escalas: 5 mm.

FIGURA 7 - *Gordia marina*, *Hormosiroidea meandrica* e *Undichnia consulca*.



Fonte: A - Lucas et al. (2004) B – retirado de Balistieri et al. (2002) C – retirado de Netto et al. (2009).  
 Legenda: A) *G. marina*. B) *H. meandrica* C) Linhas destacando traços de *U. consulca*. Escalas: 5 mm.

### 1.3.2.2 Fósseis da Formação Mafra

Os fósseis são provenientes de um estrato diferente de onde foram descritos os icnofósseis desta formação. Ricetti & Weinschutz (2011) relataram a ocorrência de fósseis de escolcodontes para o intervalo médio da Formação Mafra. De acordo com os autores, os fósseis encontrados podem pertencer ao gênero *Paulinites*, e possivelmente a *Paulinites paranaensis* e *Paulinites polonensis*. Porém, o baixo nível de preservação das amostras dificulta inferências mais acuradas.

### 1.3.3 Formação Rio do Sul

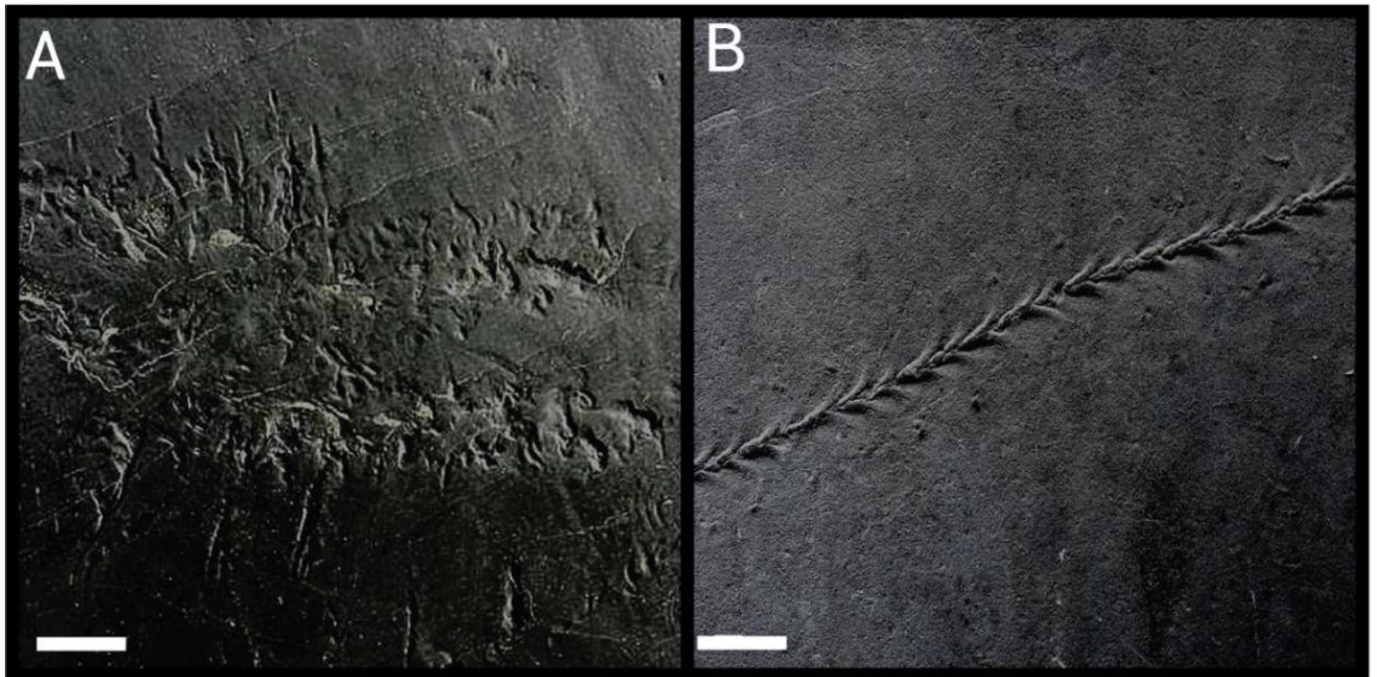
#### 1.3.3.1 Icnofósseis da Formação Rio do Sul

A Formação Rio do Sul é a mais rica em conteúdo paleontológico dos estratos do Grupo Itararé. Entre os icnofósseis relatados, diversos trabalhos já descreveram

as escavações encontradas em seus estratos (DIAS-FABRÍCIO & GUERRA-SOMMER 1989; MARQUES-TOIGO et al. 1989; NOGUEIRA & NETTO 2001a, b; CORRÊA et al. 2014; LIMA et al. 2015, 2017). Os icnofósseis relatados nesta seção, seguem as descrições de Lima et al. (2015) e Lermen (2006), e informações mais detalhadas estão presentes no artigo no capítulo “RESULTADOS” deste documento.

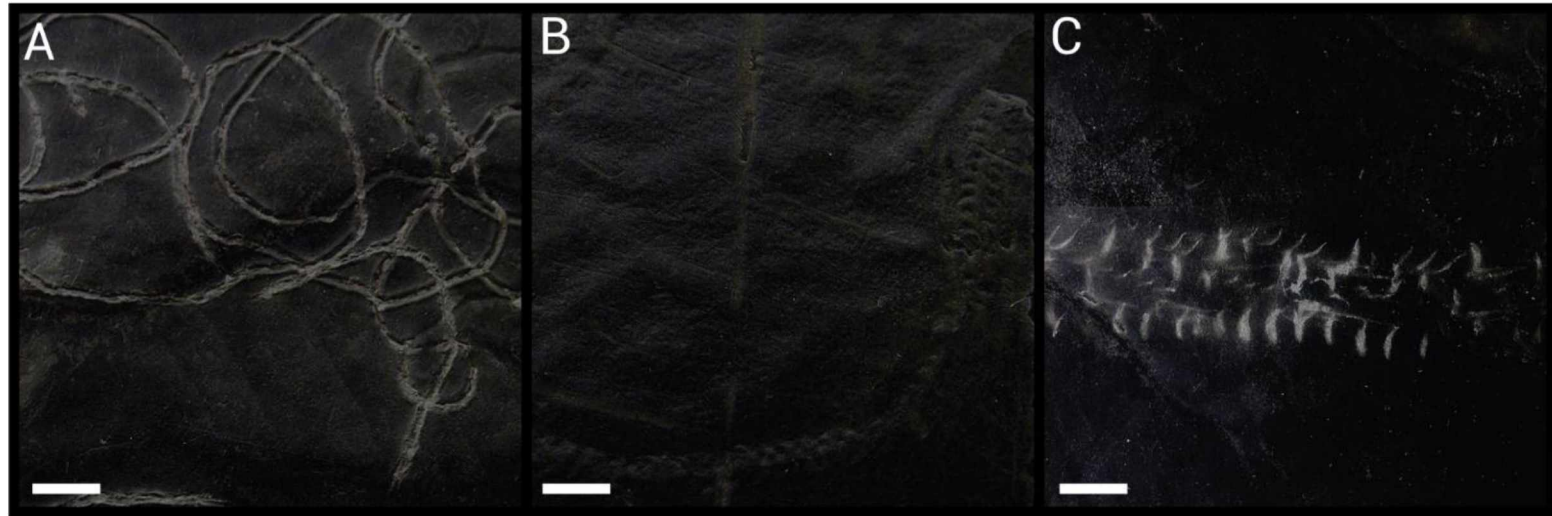
Os icnofósseis descritos para esta seção são: *Cruziana problematica*, *Diplichnites gouldi*, *Diplopodichnus biformis*, *Glaciichnium liebegastensis*, *Gluckstadtella elongata*, *Helminthoidichnites tenuis*, *Mermia carickensis*, *Protovirgularia dichotoma*, *Treptichnus pollardj*, *Umfolozia sinuosa*, *Kouphichnium isp.*, *Maculichna varia*, *Nereites isp.*, *Protichnites isp.*, *Cruziana isp.*, *Rusophycus carbonarius* e *Tonganoxichnus isp.*

FIGURA 8 - *Gluckstadtella elongata* e *Glaciichnium liebegastensis*

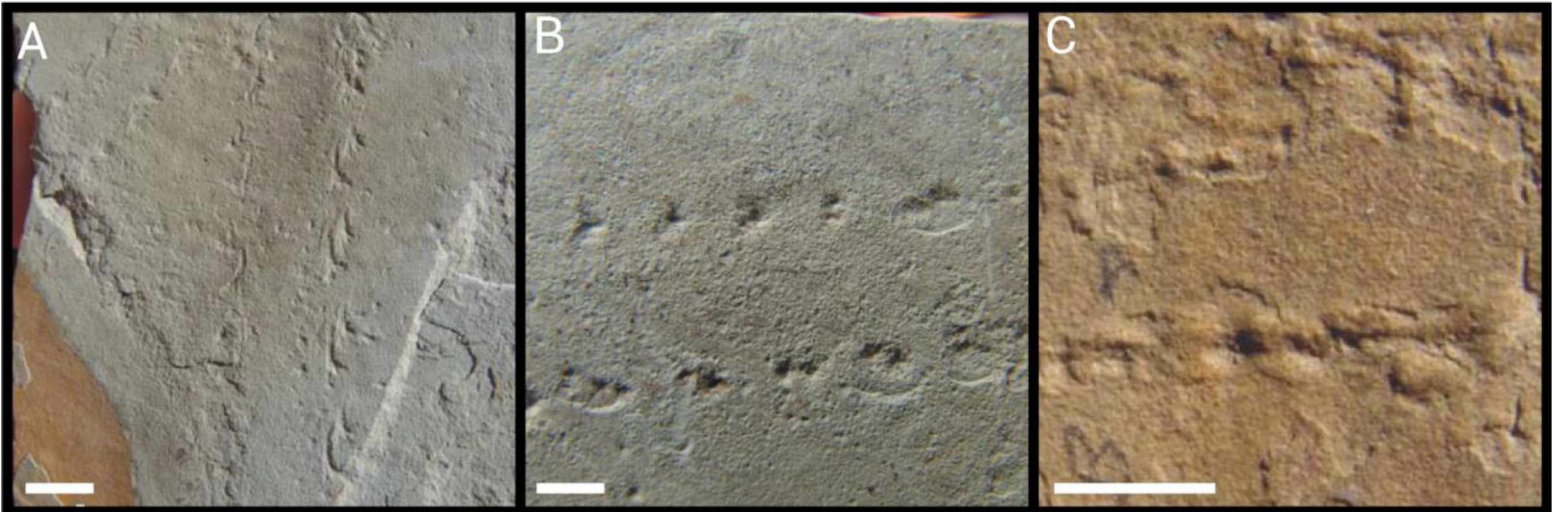


Fonte: Lima et al (2015). Legenda: A) *G. elongata*. B) *G. liebegastensis*. Escalas: 5 mm.

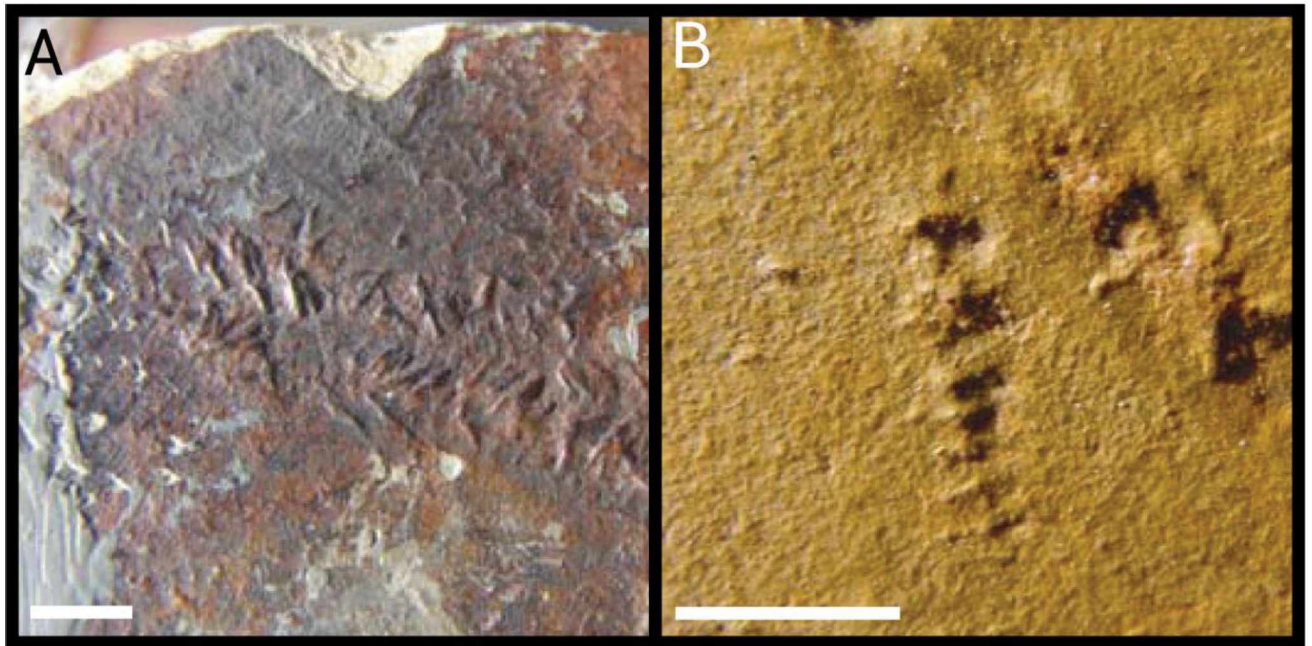


FIGURA 9 - *Mermia carickensis*, *Protovirgularia dichotoma* e *Umfolozia sinuosa*.

Fonte: Lima et al (2015). Legenda: A) *M. carickensis*. B) *P. dichotoma*. C) *U. sinuosa*. Escalas: 5 mm.

FIGURA 10 - *Kouphichnium* isp., *Maculichna varia* e *Nereites* isp.

Fonte: Lermen (2006). Legenda: A) *Kouphichnium* isp. B) *Maculichna varia*. C) *Nereites* isp. Escalas: 5 mm.

FIGURA 11 – *Cruziana* isp., *Tonganoxichnus* isp.

Fonte: Lermen (2006). Legenda: A) *Cruziana* isp. B) *Tonganoxichnus* isp. Escalas: 5 mm.

#### 1.3.4 Fósseis da Formação Rio do Sul

Assim como o entendimento do contexto icnológico da Formação Rio do Sul pode auxiliar nas interpretações paleoambientais, estudar o conjunto de fósseis também contribui no esclarecimento dos ambientes pretéritos. A Formação Rio do Sul, contém o acervo fossilífero mais significativo do Grupo Itararé. Entre os fósseis, podem ser identificados fósseis vegetais, vertebrados e invertebrados.

#### 1.3.5 Invertebrados fósseis da Formação Rio do Sul

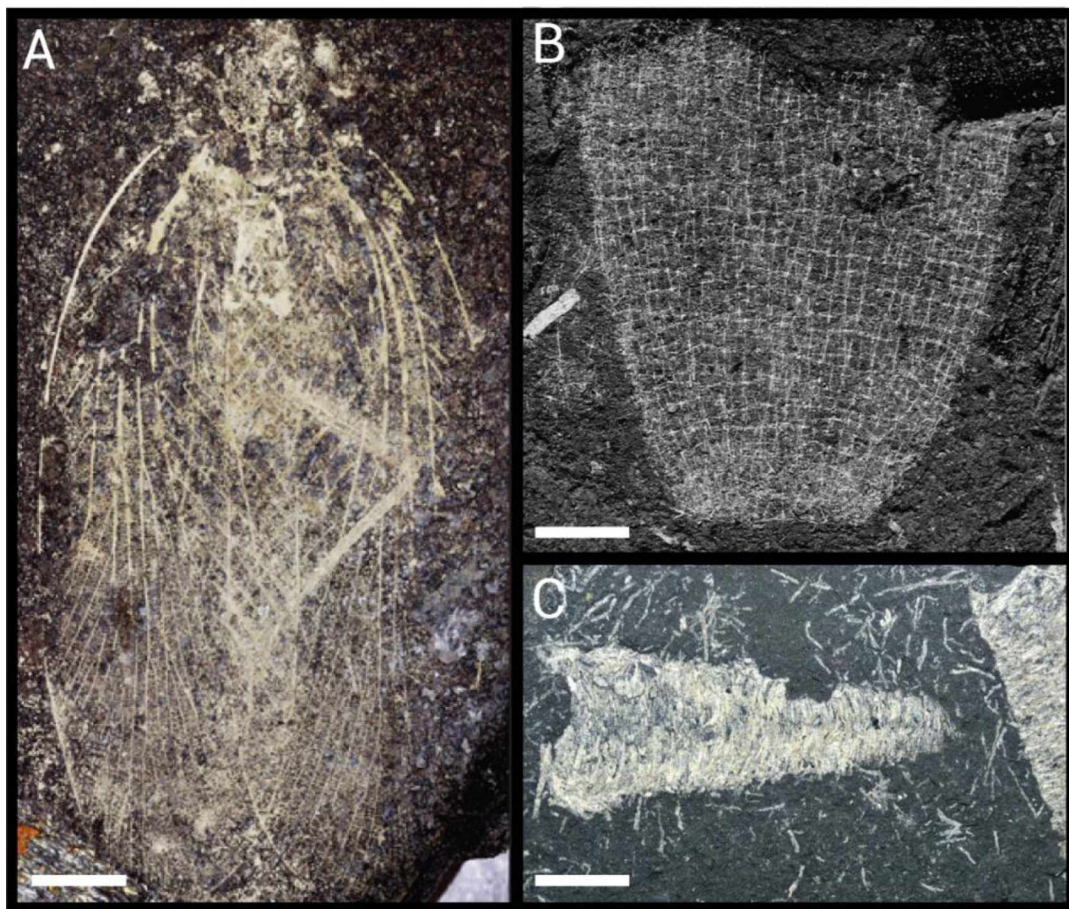
Ricetti & Weinschutz (2011) relataram a presença de elementos escolecodontes para a base da Formação Rio do Sul, mas da mesma forma que as amostras encontradas na Formação Mafra, o baixo nível de preservação impede inferências precisas. Posteriormente, novos trabalhos relatando invertebrados ocorreram para a mesma região. Mouro et al. (2014) demonstraram a ocorrência de esponjas Hexactinellida (FIGURA 13 B), com alto grau de preservação e a partir de análises tafonômicas, Mouro et al. (2017) sugeriram um ambiente de deposição marinho distal para o Folhelho Lontras, local onde foram encontradas as estruturas.



Outro fóssil de invertebrado foi elencado por Mouro et al. (2016). Os autores demonstraram evidências de casulos de Trichoptera (FIGURA 13 C), preservados no Folhelho Lontras. A preservação destas estruturas possibilita interpretações de um meio de baixa energia, além de auxiliar no entendimento do contexto evolutivo destes organismos.

Ainda sobre fósseis de estruturas frágeis, Ricetti et al. (2016), apresentaram um inseto, descrito como *Anthracoblattina mendesi* (FIGURA 13 A). Na mesma pesquisa os autores relatam a ocorrência de outros táxons (*Anthracoblattina oliveirai*, *Phyloblatta roxoi*, *Phyloblatta pauloi*, *Phyloblatta sommeri*, *Anthracoblattina langei*, *Anthracoblattina mendesi*, *Irajanarkemina rodendorfi*, *Cacurgulopsis sanguinettiae*, *Pintopinna martinsnetoi*, *Proedischia mezzalirai*, *Carpenteroptera onzii*, *Carpenteroptera rochacamposi* e *Taiophlebia niloriclasodae*), que foram descritos para o Grupo Itararé.

FIGURA 12 –Fósseis de estruturas frágeis da Fm. Rio do Sul

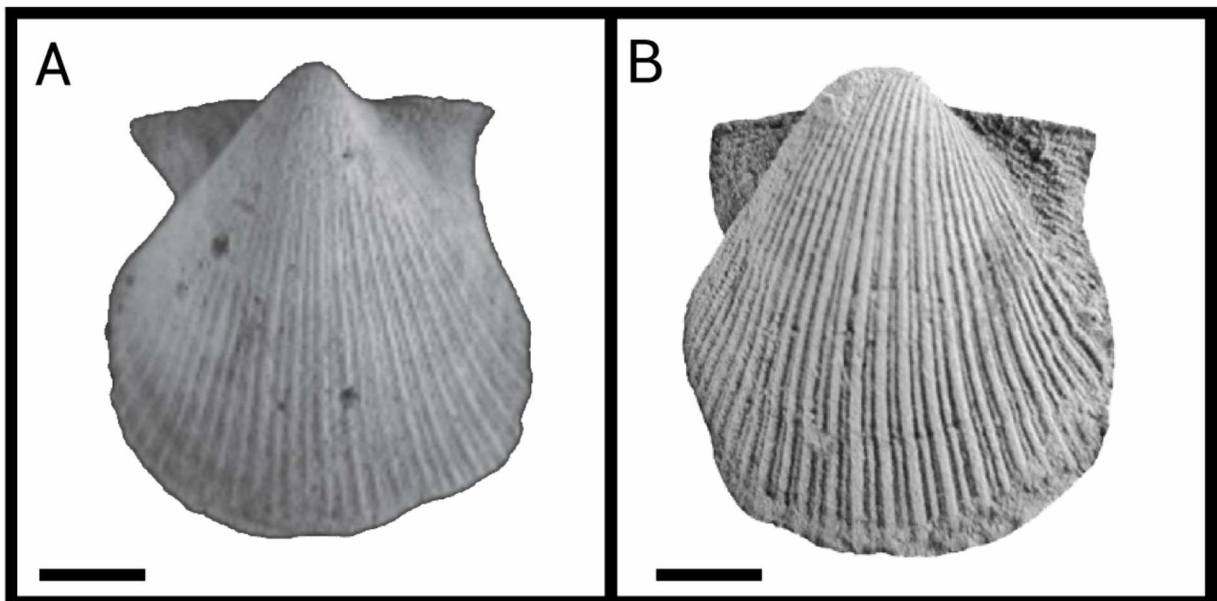


FONTE: A - Ricetti et al. (2016), B - Mouro et al. (2014) C - Mouro et al. (2016). Legenda: A) holótipo da *Anthracoblattina mendesi*. B) esqueleto de esponjas Hexactinellida C) casulos larvais de Trichoptera. Escalas: 5 mm.

Entre as estruturas de invertebrados, a ocorrência de moluscos fósseis (FIGURA 14) foi descrita por Simões et al. (2012), Neves et al. (2014) e Taboada et al. (2016). O estudo deste grupo de organismos pode auxiliar no entendimento do paleoambiente, da bioestratigrafia e da paleoecologia da região onde foram encontrados. Neste contexto, Simões et al. (2012) descreveram os táxons *Myonia argentinensis*, e *Aviculopecten multiscalptus* e Neves et al. (2014), *Myonia argentinensis*, *Atomodesma (Aphanaia) orbirugata* e *Heteropecten paranaensis*. A descrição deste material possibilitou inferência de um paleoambiente marinho distal e análises bioestratigráficas sugeriram idade Asseliana para os depósitos onde foram coletados os fósseis.

Em um contexto similar ao citado acima, Taboada et al. (2016) estudaram os braquiópodes presentes nos estratos da Formação Rio do Sul. Os autores descreveram *Lyonia rochacamposi* sp. nov., *Langella imbituvensis*, *Streptorhynchus* sp., *Cyrtella* sp., *Tomioptis* sp. cf. *T. harringtoni*, *Quinquenella rionegrensis* e *Biconvexiella roxoi*. O estudo destes materiais possibilitou correlações bioestratigráficas com a Bacia Sauce Grande-Colorado, na Argentina, sugerindo um intervalo bioestratigráfico do Asseliano inicial ao Sakmariano. E análises paleoambientais demonstraram um ambiente marinho.

FIGURA 13 – Invertebrados da Formação Rio do Sul



FONTE: A - Simões et al. (2012). B – Neves et al. (2014). Legenda: A) *Aviculopecten multiscalptus*. B) *Heteropecten paranaensis*. Escalas 5 mm.

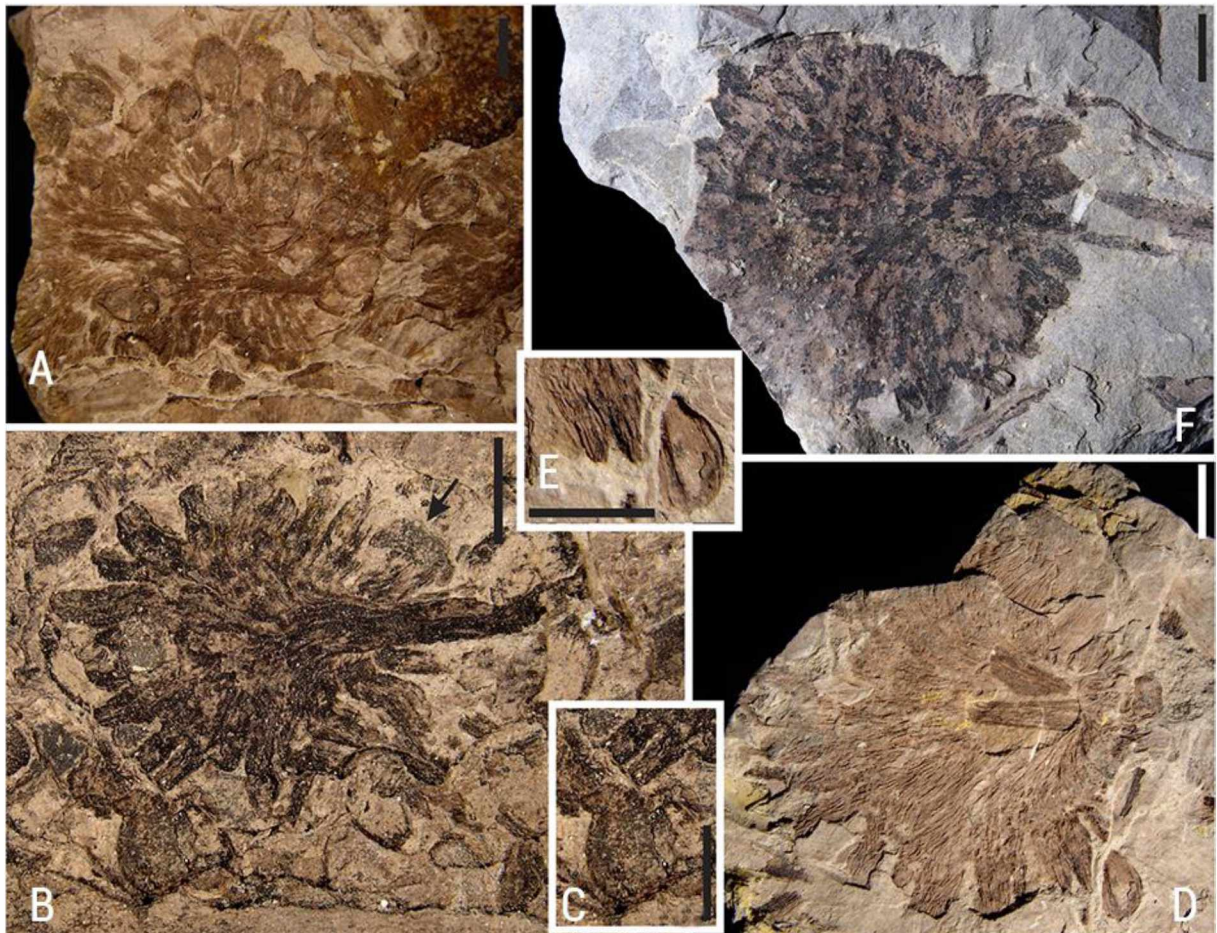


### 1.3.6 Plantas fósseis do Grupo Itararé

O registro da flora em ambientes glaciais pode servir como uma ferramenta de alto potencial quando se trata de análises de cunho paleoambiental. Embora os trabalhos atuais auxiliem nessas observações, no Grupo Itararé pouco material macro florístico é conhecido.

Souza & Iannuzzi (2016) descreveram a ocorrência do gênero *Ottokaria* (FIGURA 15) para os estratos do topo do Grupo Itararé e base do Grupo Guatá. No mesmo estudo, os autores comentam a presença de outros táxons como: folhas de *Glossopteris communis*, *Gangamopteris* sp. e *Cordaites* sp., pequenos caules de *Paracalamites*, além de material foliar referente ao gênero *Phyllothea* e *Stephanophyllites*. No mesmo afloramento onde são relatados estes espécimes, foram identificados, poucos centímetros abaixo, amostras de *Gangamopteris*, *Glossopteris* e *Cordaites*, e estruturas foliares de *Botrychiopsis*.

FIGURA 14 – Plantas fósseis da Formação Rio do Sul



Fonte: Souza & Iannuzzi (2016). Legenda: A). Frutificações em compressão oblíqua, destacando superfícies estéreis com veias em formato de hélice e superfícies férteis cobertas por sementes de orthotropous/ovulos B). *Ottokaria sanctae-catharinae* — frutificações com superfície estéril e semente agregada (destacado por flecha) C). Detalhes de *Cordaicarpus* sp. cf. *C. emarginatus*; D). *O. sanctae-catharinae* frutificações com superfícies estéreis E). Detalhes de *Cordaicarpus* sp. cf. *C. emarginatus*; F). *O. sanctae-catharinae* — frutificações com superfícies estéreis. Escalas: 5 mm.

Recentemente, Bernardes-de-Oliveira et al. (2016) elencaram sucessões ecológicas da macro flora do Cisuraliano, do estado de São Paulo. A primeira sucessão foi registrada no município de Campinas, onde foram reportadas associações de *Dwykea-Sublagenicula-Calamospora*, compostos por megásporos de licófitas (*Sublagenicula*, *Trileites* e *Calamospora* sp.) e algumas briófitas (*Dwykea*). Esse conjunto faunístico indica um ambiente glacial costeiro ou interglacial costeiro.

Na segunda sucessão, os fósseis foram coletados na cidade de Itapeva e Buri, onde foram identificadas associações de *Eusphenopteris-Nothorhacopteris-Botrychiopsis*, composta por *Eusphenopteris*, *Nothorhacopteris*, *Botrychiopsis*, *Paracalamites* spp. em conjunto com *Sphenophyllum*, *Koretrophyllites*, *Noeggerathiopsis* e raramente *Cordaicarpus* e *Samaropsis*. O registro dessa flora sugere ambiente de planície deltaica interglacial a terrenos pantanosos, de baixas temperaturas.

O terceiro conjunto foi coletado na localidade de Monte Mor, registrando a primeira aparição de coníferas para a Bacia do Paraná. Essa associação foi denominada *Paranocladus-Ginkgophyllum-Brasilodendron*. Composta por *Paranocladus*, *Paranospermum* e algumas *Buriadia*, além de licófitas (*Brasilodendron*, *Bumbudendron*), *Ginkgophyllum*, *Noeggerathiopsis*, *Samaropsis* e *Cordaicarpus* e raramente *Nothorhacopteris*, *Botrychiopsis*, *Koretrophyllites* e *Sphenophyllum*. Essa sucessão foi interpretada como presente em planícies deltaicas interglaciais.

A quarta sucessão foi encontrada na cidade de Salto, e foi classificada como *Dwykea-Sublagenicula-Calamospora*, composta por briófitas (*Dwykea*), megásporos de licófitas, similares à primeira seção. O ambiente de formação desta flora era majoritariamente formado por costas glaciais ou interglaciais com vegetações do tipo tundra.

A última sucessão foi coletada nos municípios de Tietê e Cerquilha, onde foram encontradas folhas de *Glossopteris* e possivelmente as primeiras formas com estruturas reprodutivas da Bacia do Paraná. O conjunto foi denominado associação *Gangamopteris-Arberia-Stephanophyllites*. Nesta seção foram descritos os táxons

*Gangamopteris*, *Arberia*, *Arberioopsis* e *Hirsutum*, além de esfenófitas como *Stephanophyllites* e *Phyllothea*. O paleoambiente dessa localidade foi descrito como uma costa progracional ou aluvial em um meio interglacial, registrando o final dos processos sedimentares do Grupo Itararé.

### 1.3.7 Vertebrado da Formação Rio do Sul

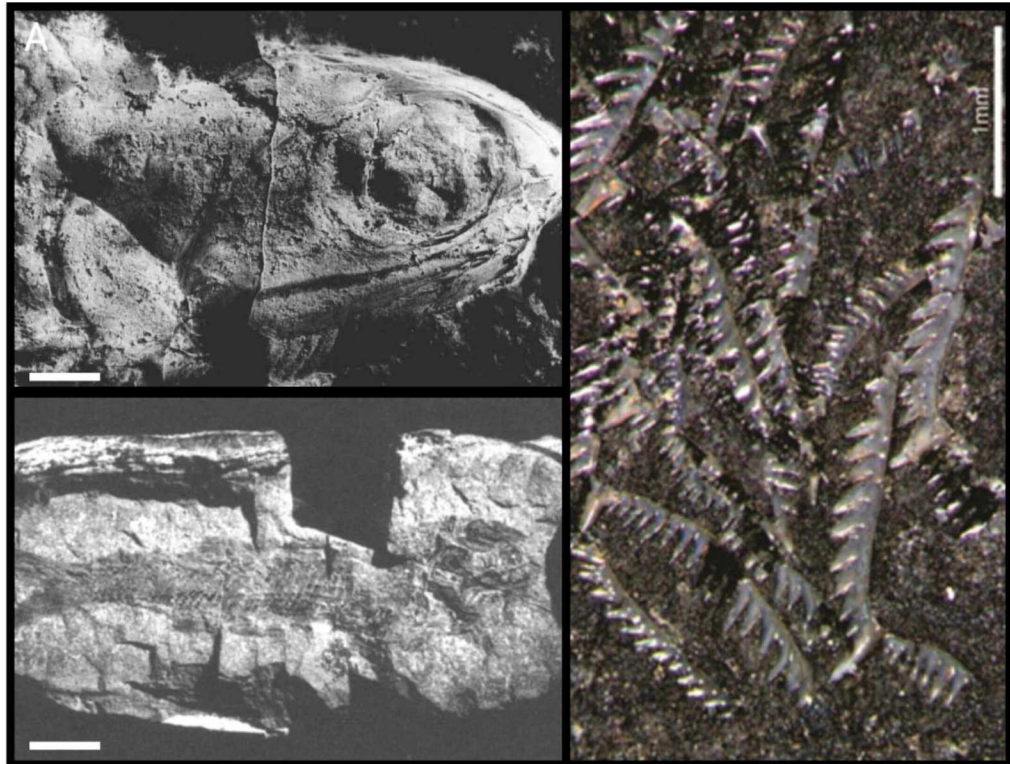
O estudo de vertebrados fósseis também colabora para o entendimento do contexto paleoambiental, paleobiogeográfico e bioestratigráfico dos depósitos glaciogênicos do Grupo Itararé. Os principais estudos focados neste contexto são os trabalhos de Malabarba (1988), Hamel (2005), Wilner (2014) e Wilner et al. (2016).

Um dos trabalhos pioneiros para descrição de organismos vertebrados foi o de Malabarba (1988) que apresentou um novo gênero de Actinopterygii basal, denominado *Santosichthys mafrensis*, proveniente do Folhelho Lontras, base da Formação Rio do Sul. Posteriormente Hamel (2005) descreveu um novo peixe Actinopterygii do mesmo afloramento e o denominou de *Roslerichthys riomafrensis*. Infelizmente o local de origem destas amostras não se encontra mais disponível, devido a processos erosivos e de ocupação do afloramento.

Wilner (2014) e Wilner et al. (2016) elaboraram trabalhos mais recentes sobre novos vertebrados fósseis provenientes do Folhelho Lontras. Nessas pesquisas, os autores descreveram elementos conodontes gondolelídeos pertencentes ao gênero *Mesogondolella*, táxons de importância bioestratigráfica que posiciona o Folhelho Lontras dentro do Cisuraliano, além de colaborar com interpretações paleoambientais, pois este gênero de conodontes é encontrado em rochas formadas em ambientes marinhos de baixa temperatura.



FIGURA 15 – Fósseis de Vertebrados da Formação Rio do Sul



FONTE: A - Malabarba (1988), B - Hamel (2005), C - Wilner et al. (2016). Legenda: A) *Santosichthys mafrensis*. B) *Roslerichthys riomafrensis*. C) Aparelho alimentar de *Mesogondolella* spp. com padrão de distribuição paralelo. Escalas A-B: 5 mm.

#### 1.4 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa visam contribuir com as informações sobre o paleoambiente dos ritmitos do topo da Formação Rio do Sul. Localizados na cidade de Trombudo Central, Santa Catarina, utilizando o viés da icnologia como alicerce desta pesquisa.

Para isso objetivos específicos foram adotados:

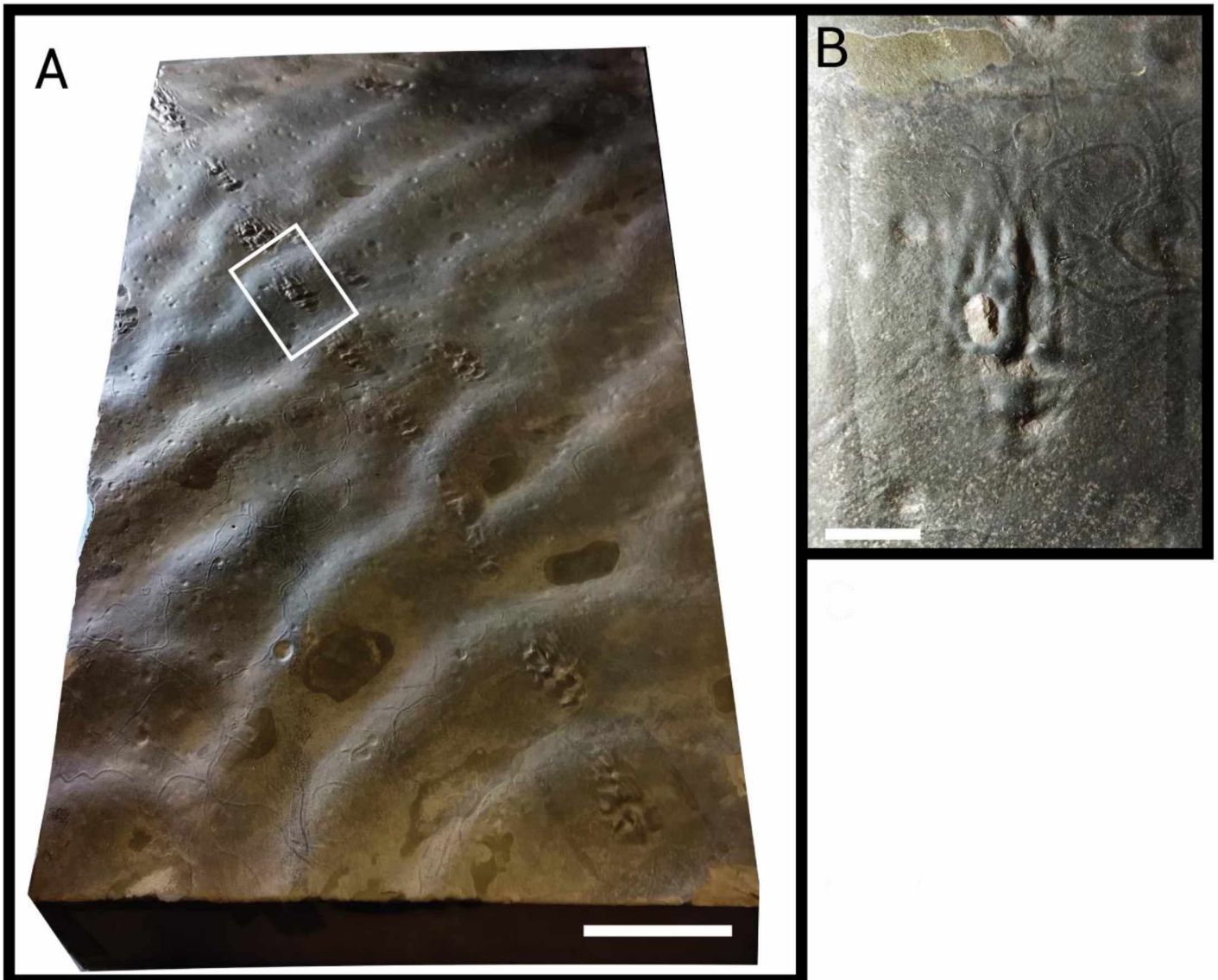
- Caracterizar os icnofósseis presentes em amostras coletadas e recebidas por doação das pedreiras de Trombudo Central, bem como nos estratos identificados em campo;
- Identificar qual o icnofóssil que está presente na amostra UFPR 0042IC A, depositada no Laboratório de Paleontologia da UFPR;
- Diagnosticar qual o possível organismo gerador dos traços presentes na amostra UFPR 0042IC A;

- Integrar os dados faciológicos e paleontológicos para reconstrução de um paleoambiente;
- Sugerir um ambiente deposicional dos ritmitos da Formação Rio do Sul, topo do Grupo Itararé.
- Submeter as informações obtidas em periódico científico, para consolidação das informações.

## 1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho permeou estudos de icnofósseis provenientes dos ritmitos do topo da Formação Rio do Sul, aflorantes na cidade de Trombudo Central. Os materiais estudados estão presentes em dois conjuntos de amostras depositados no Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Paraná (LABPALEO), Setor de Ciências da Terra.

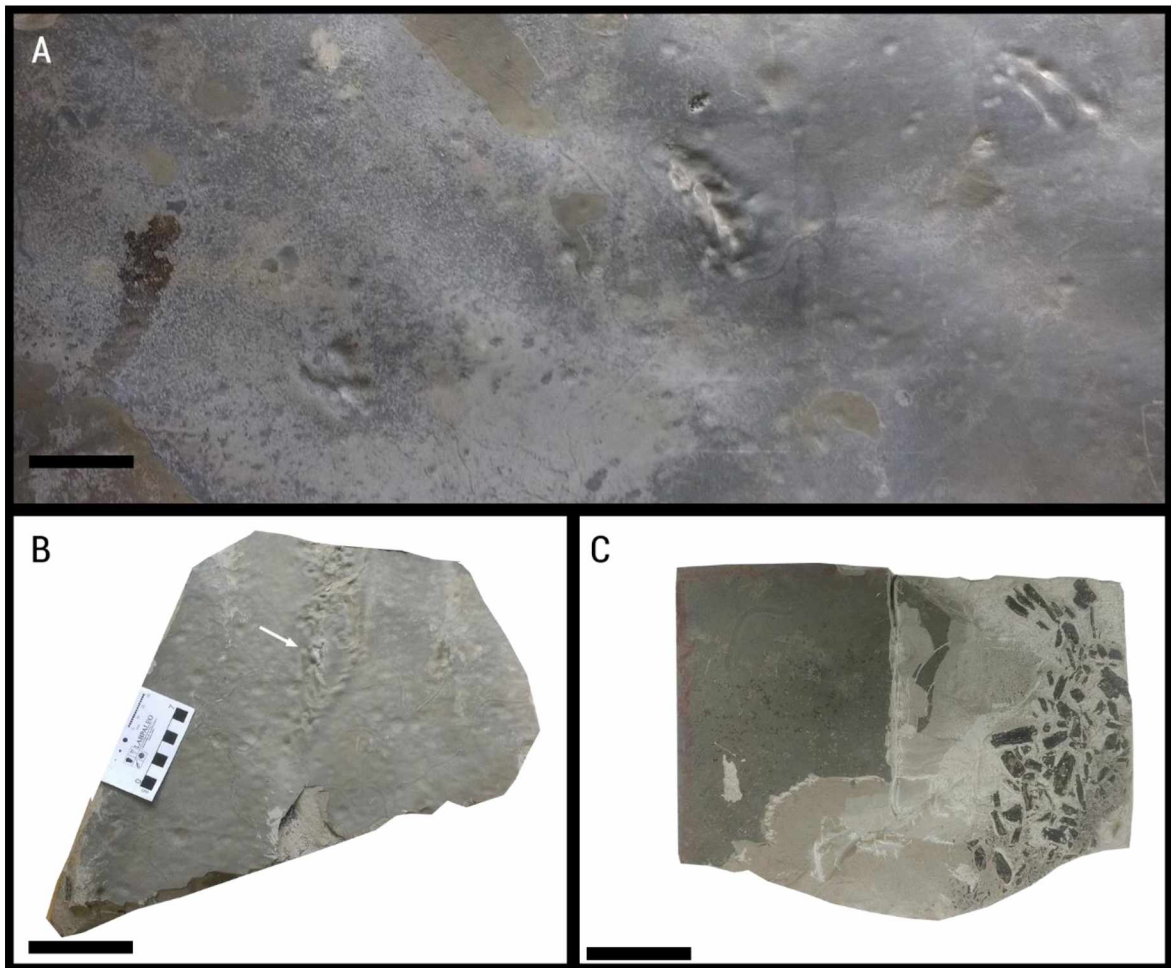
O primeiro grupo de amostras foi doado ao LABPALEO, pela empresa JM Comércio e Mineração de Pedras LTDA. Estes foram tombados sob os números UFPR 0042IC A (FIGURA 17), UFPR 0042IC B, UFPR 0042 IC C, UFPR 0042 D (FIGURA 18). “UFPR” identifica a instituição de tombamento, e “IC” corresponde à Coleção de Icnofósseis do LABPALEO. Esses espécimes se apresentam em lajes de siltito cinza claro, onduladas com 15 cm de espessura e tamanho variados, entre centimétricas a métricas.

FIGURA 16 – Amostra UFPR 0042 IC A – Holótipo *Sarilichnus* isp.

Legenda: A) amostra UFPR 0042 IC A, com 13 traços de *Sarilichnus* isp. e retângulo branco selecionando aproximação demonstrada em B. Escala A: 10 cm. Escala B: 5 cm.



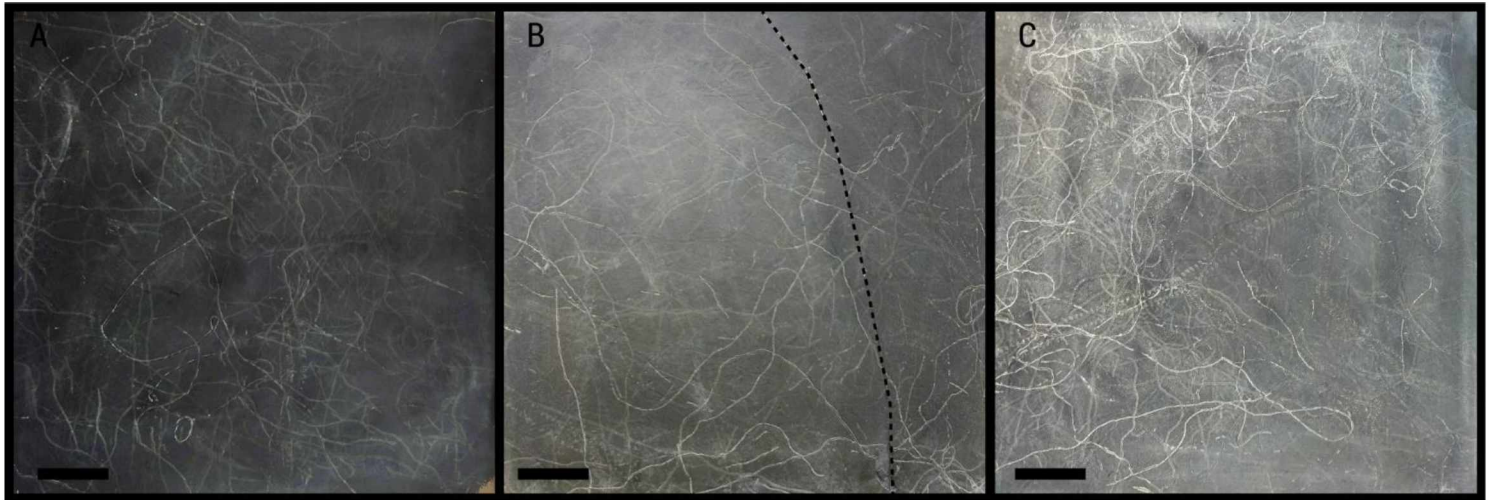
FIGURA 17 – Amostras UFPR 0042 IC B, UFPR 042IC C e UFPR 0042IC D.



Legenda: A) Pistas de repouso. B) MISS (seta branca). C) Amostra com estruturas carbonificadas pouco preservadas. Escalas: 7 cm.

O segundo conjunto de exemplares (FIGURA 19) foi classificado com os números UFPR 0043 IC, UFPR 0044 IC A, UFPR 0044IC B, UFPR 0045 IC. Essas amostras foram coletadas em campo, em lajes dispostas na Pedreira Central (UTM 619241-6981157). Além da Pedreira Central, outras jazidas foram estudadas, como Pedreira do trevo (UTM 619590-6981609), “Pedreiras do seu Idalfonso” (UTM 619743-6982103, 619829-6981843) e Pedreira Itau-Itauna (UTM 619576-6981405), elencados na FIGURA 1.

FIGURA 18 – Amostras UFPR 043IC, UFPR 0044IC A, UFPR 44IC B e UFPR 45IC



Legenda: Segundo conjunto de amostras estudado. A) UFPR 00 44 IC. B) UFPR 0045 IC A e UFPR 0045 IC B (esta imagem contém UFPR 0044IC A e UFPR0044IC B, que faziam parte do mesmo exemplar, mas foi separado em duas) C) UFPR 0045 IC. Escalas: 5 cm.

A classificação icnotaxônomica foi baseada nos trabalhos de Trewin (1994), Bromley (1996), Mángano et al. (1997), Braddy (2003), Bertling *et al.* (2007), Minter *et al.* (2007) e Knaust (2012). E as inferências paleoambientais utilizaram como base os conceitos de Crimes (1975), Bromley (1996), Miller (2007), Seilacher (2007) e Benton & Harper (2009). Para auxiliar na observação das amostras, o protocolo de Falkingham et al. (2018) foi adotado.



## 2 RESULTADOS

### FIRST OCCURRENCE OF A WELL-PRESERVED JUMPING TRACKWAY IN LATE PALEOZOIC GLACIALLY-RELATED DEPOSITS, PARANÁ BASIN, BRAZIL, AND PALEOENVIRONMENTAL IMPLICATIONS

Dhiego Cunha da Silva<sup>1\*</sup>, Cristina Silveira Vega<sup>1</sup>, Fernando Farias Vesely<sup>1</sup>, Danielle Cristine Buzatto Schemiko<sup>1</sup>, Robson Tadeu Bolzon<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Programa de pós-graduação em geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brazil.

<sup>2</sup>Geology Course, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brazil.

\*cs.dhiego@gmail.com

**Keywords:** *ichnology, resting-trace, arthropod, trackway, glacial*

## ABSTRACT

Ichnology is fundamental to understand the environmental energy, oxygenation, salinity and substrate consistence, which are rarely resolved by others fields like field-based sedimentology or fossil studies. The Itararé Group is a lithostratigraphic unit of the Pennsylvanian-Cisuralian of Paraná Basin. The studied unit correspond to the top division of the Group, the Rio do Sul Formation. This Formation exhibits a diverse ichnoassemblage preserved in rhythmites composed of silt and clay. In these layers, ichnotaxa such as *Cruziana problematica*, *Diplichnites gouldi*, *Glaciichnium* isp., *Gluckstadtella elongata*, *Helminthoidichnites tenuis*, *Mermia carickensis*, *Protovirgularia dichotoma*, *Treptichnus pollardi* and *Umfolozia sinuosa* are observable. Until now, no body-fossils have been described at these rhythmites, however different types of crustaceans and insects are proposed as the most likely tracemakers of such ichnofossils. This paper shows the first record of a well-preserved jumping trackway. The main specimen of this project (catalogued as UFPR 00421C A) consists of a rhythmite sample with invertebrate trails and resting traces. This study systematically reviews the data obtained from the sample, and propose an insect producer, with jumping habits and suggest a subaerial paleoenvironmental setting.

## INTRODUCTION

Trace fossil assemblage of arthropods can be a good way to understand the paleoenvironments characteristics like environmental energy, oxygenation, salinity and substrate consistence. Trackways and trails, reveals important habits of extinct arthropods, however usually the imprints of the distal part of the legs, as podium imprints preserves, hence limiting interpretations of the possible producer. Resting trace can provide much more accurate information about the morphology of the

producer, as they conserve the entire animal impression. Thus, resting traces contribute with more accurate information than trackways against our understanding of the diversity of ancient arthropod communities and their paleoenvironmental reflection. As pointed by Braddy & Briggs (2002), arthropod resting traces from Paleozoic nonmarine environments are rare, but include forms made by all the major arthropod groups.

The trace fossils preserved in the rhythmites, composed of silt and clay, in the top of Rio do Sul Formation, Paraná Basin, are spectacular in variety and preservation. They bring a unique insight into the activities of invertebrates, and reveal the presence of a diverse arthropod-fauna. Previous works like Dias-Fabrizio & Guerra-Sommer (1989) described a few trace fossil on this rhythmites, but they left open nomenclatures. After that, recent researches like Nogueira & Netto (2001*a, b*), Corrêa *et al.* (2014) and Lima *et al.* (2015, 2017) suggested that the trace fossil assemblage found in the rhythmites of Trombudo Central was produced mostly from aquatic to terrestrial arthropods.

In this paper we describe a new arthropod ichnotaxon and discuss the probable producer and the behavior represented. Thus, how this data contributes to a paleoenvironmental interpretation.

## 2.1 GEOLOGICAL SETTING AND ASSOCIATED ICHNOFAUNA

The Itararé Group presents one of the most well-preserved record of glacial rocks and arthropod trace fossils in the Paraná Basin. This group was subdivided by Schneider *et al.* (1974) into three formations. At the base was described the Campo do Tenente Formation followed by Mafra Formation and, at the top, the Rio do Sul Formation. Posterior studies, made by França & Potter (1988) and Milani *et al.* (1997) reclassified these sections into Lagoa Azul Formation, Campo Mourão Formation and Taciba Formation, from base to top. In this work, the nomenclatures of Schneider *et al.* (1974) were adopted, since the type area of their studies permeate the region studied in project, mainly the Rio do Sul Formation, which is the focus of this research.

Biostratigraphic studies consider the Itararé Group between early Pennsylvanian and early Cisuralian (Pinto 1990; Pinto & Sedor 2000; Souza 2006; Neves *et al.* 2014; Taboada *et al.* 2016). However, radiometric data obtained by Cagliari *et al.* (2014, 2016) indicates that the upper strata of the Itararé Group are Pennsylvanian. These

data included the deposits of Itararé Group between Late Carboniferous-Early Permian.

The strata of the Rio do Sul Formation were characterized by a basal portion of black shales and dark-gray argillites, denominated Lontras Shale in Santa Catarina State and Guaraúna Shale in Paraná State. The upper part of this formation consists of fine sandstones, diamictites, shales, rhythmites and argillites. In its type area, the Rio do Sul Formation can reach up to 350 meters thick, gradually decreasing towards the north. The lower contact with the Mafra Formation is concordant, but in the southeastern portion of Santa Catarina state the rocks are found over the basement. The upper contact with the Rio Bonito Formation is concordant, except to the northeast of Paraná and São Paulo states. The upper portion of the Rio do Sul Formation, to the east of Santa Catarina State, presents erosive contact with the Rio Bonito Formation. These strata were interpreted as rhythmites that originated in a final period of glaciation (SCHNEIDER *et al.* 1974).

The Campo do Tenente and Mafra Formations present low ichnofossil diversity, and there is no evidence of trace fossil for the first one. The Mafra Formation was studied by Balistieri *et al.* (2003) and Netto *et al.* (2009), who demonstrated the dominance of arthropod traces, but also burrows of nematodes and other wormlike animals, also swimming trails of benthic fish were noticed.

The studied area is located in Trombudo Central, Santa Catarina State, Brazil. The analyzed material comes from a complex of quarries, located near km 160 of BR 470 highway (Figure 1). The rocks from which the samples were studied belong to the topmost Rio do Sul Formation (Figure 3). The strata are composed of rhythmites made by millimeter to centimeter-thick layers (<4 cm) of dark-gray siltstone grading upward to mudstone. The silty beds contain crystalline dropstones up to boulders and, poorly-sorted, sediment aggregates (till pellets). Some coarser grained strata have the in the following ascending stratigraphical order, sedimentary structures: cross laminations or parallel laminations, current ripples, massive mudstone (Figure 3). Trace fossil and microbially induced sedimentary structures (MISS) are abundant in most of the layers (Noll & Netto 2018).

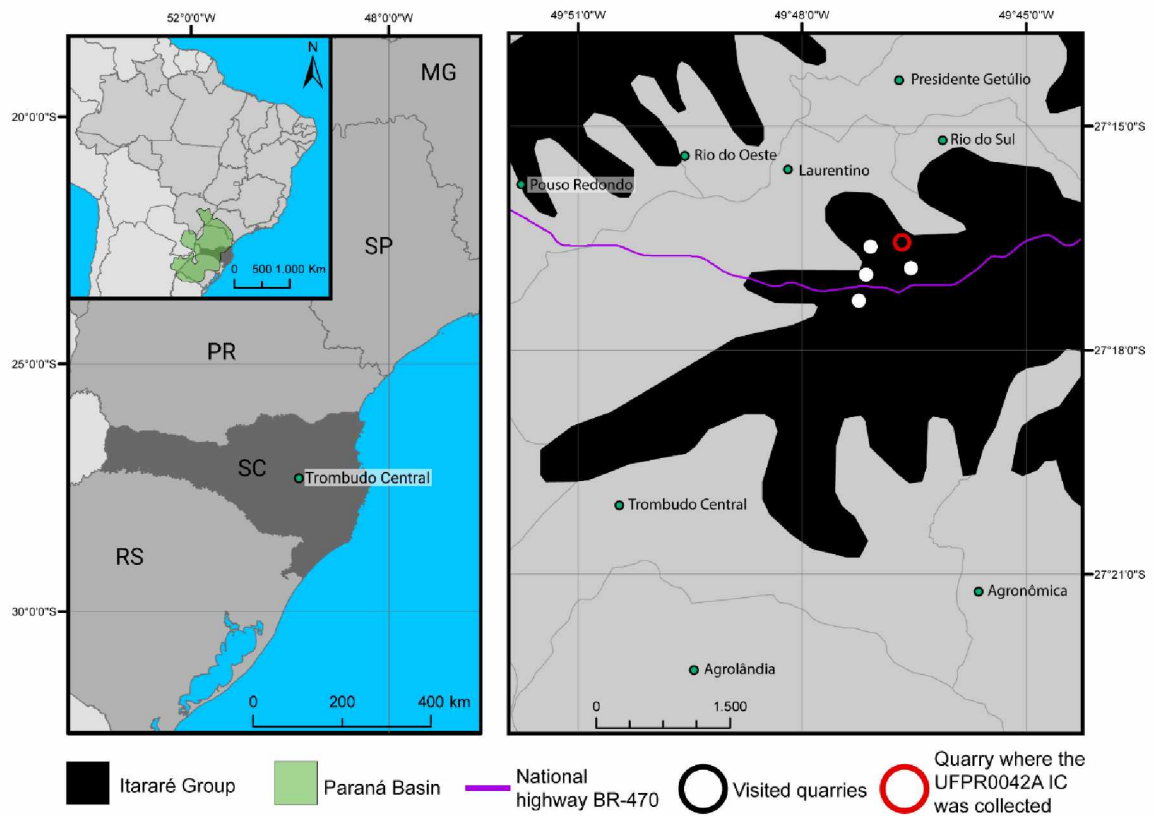


Fig. 1. Studied area, in the locality of Trombudo Central, Santa Catarina State, Brazil.

To date, previous studies (e.g. Nogueira & Netto 2001a, b; Netto *et al.* 2012; Corrêa *et al.* 2014; Lima *et al.* 2015) shown that in these layers, ichnotaxa such as *Cruziana problematica*, *Diplichnites gouldi*, *Glaciichnium isp.*, *Gluckstadtella elongata*, *Helminthoidichnites tenuis*, *Mermia carickensis*, *Protovirgularia dichotoma*, *Treptichnus pollardi* and *Umfolozia sinuosa* are observable (all the ichnology systematic can be seen in Lima *et al.* 2015). Until now, no macrofossils have been described at these rhythmites; however different types of crustaceans and insects are proposed as the most likely tracemakers of such ichnofossils.

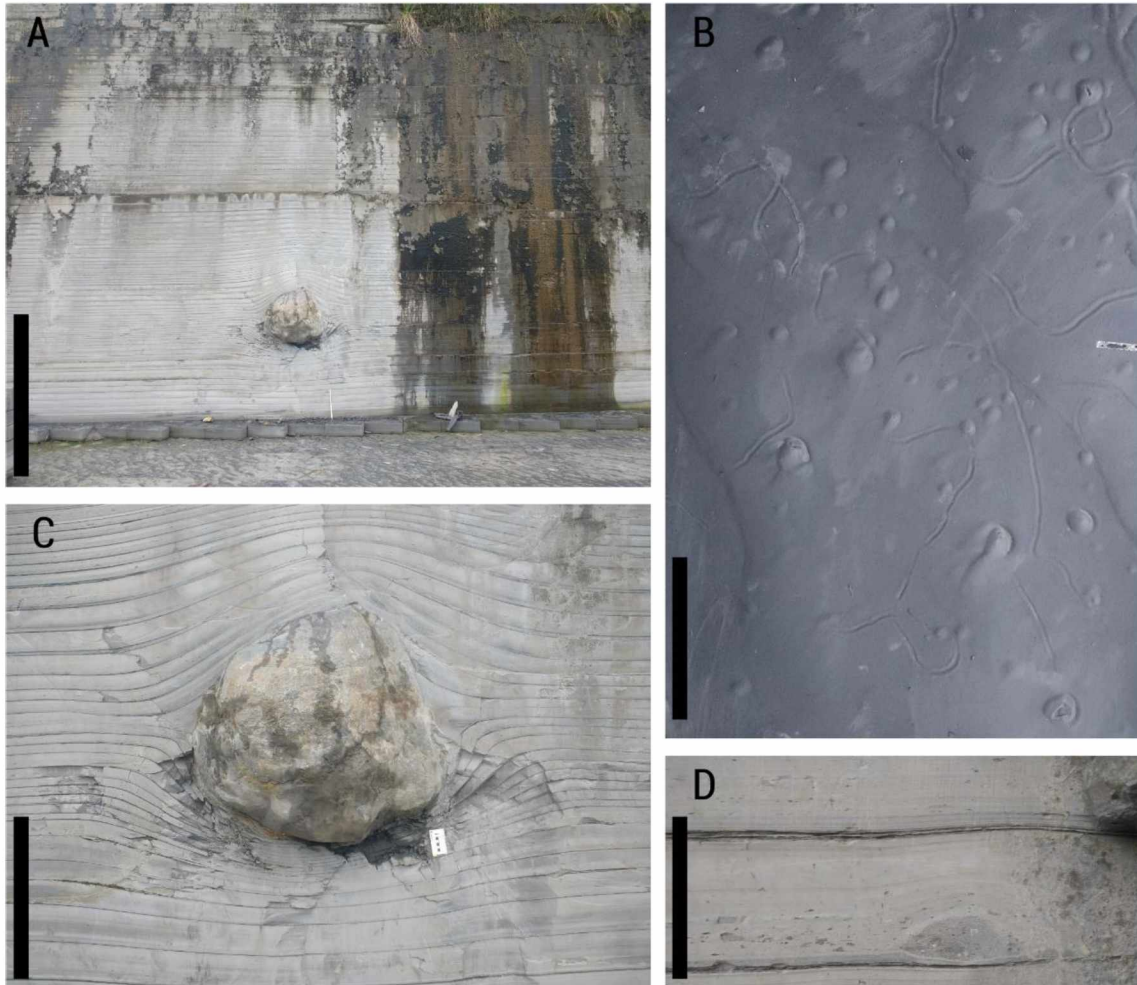


Fig.  
2.

Main sedimentary structures of Trombudo Central Region quarries. A – The outcrop where samples were collected, Scale 1.5 m. B – *Helminthoidichnites tenuis* and dropstones impression in convex hyporeleaf, Scale 20 cm. C – Boulder-sized dropstones, Scale 40 cm. D – Till pellets in siltstone beds, Scale 10 cm.

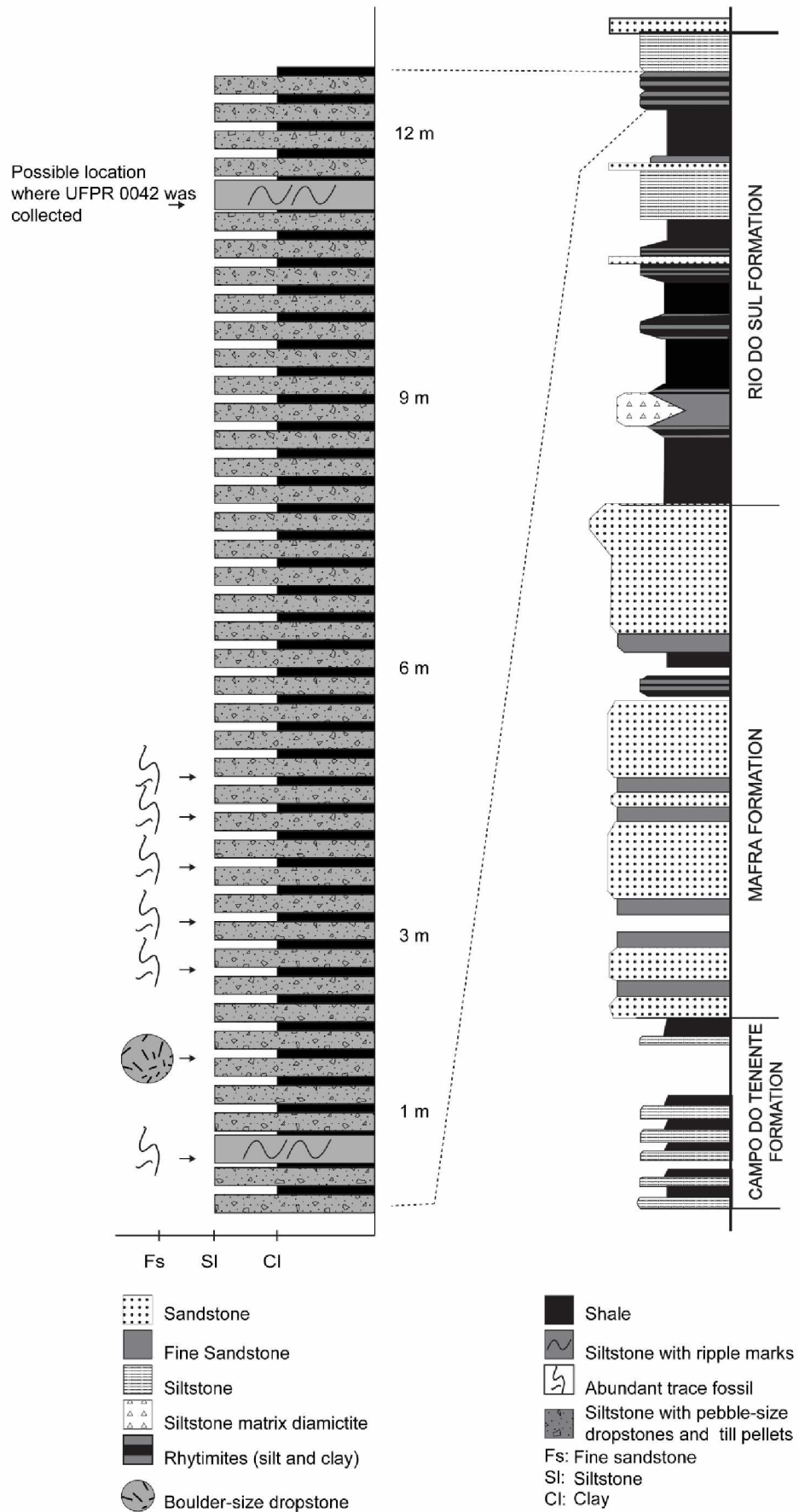


Fig. 3. Schematic representation of Itararé Group (adapted from Schneider *et al.* 1974) and the outcrop where the samples were collected.

## MATERIAL AND METHODS

This work was developed based on a sample registered in the Paleontology Laboratory of Universidade Federal do Paraná (LABPALEO, UFPR). The specimen was donated to UFPR by the company “COMÉRCIO E MINERAÇÃO DE PEDRAS LTDA” and were catalogued as UFPR 0042 IC A-D, “UFPR means the institution where the sample is located, 0042 IC A-D is referred to the catalogue number in the ichnology collection.

The ichnotaxonomic classification was performed using the principles of Bertling *et al.* (2007) and Knaust (2012). The morphological description was based on Trewin (1994), Bromley (1996), Mángano *et al.* (1997), Braddy (2003) and Minter *et al.* (2007a). The data was analyzed used as basis the concepts of Crimes (1975), Bromley (1996), Miller (2007), Seilacher (2007) and Benton & Harper (2009).

### 2.2 ICHNOLOGY SYSTEMATIC

Ichnogenus: *Helminthoidichnites* Fitch, 1850

Ichnospecies: *Helminthoidichnites tenuis* Fitch, 1850

Description: horizontal, shallow, slightly curved to highly sinuous, non-meandering and non-circular burrows. The fill is identical to matrix and slightly flattened. The described samples were found in concave epirelief.

Discussion: *Helminthoidichnites tenuis*, found in the region of Trombudo Central, corroborate with the interpretations made by Schlirf *et al.* (2001) and subsequently by Lima *et al.* (2015, 2017) that associate *H. tenuis* with traces produced by arthropod larvae grazing the substrate. As demonstrated by Nogueira & Netto (2001b), these excavations are commonly found with other pasture traces among outcrops in Trombudo Central region. *H. tenuis* was identified in almost all sections, being the most abundant ichnogenus of the upper Rio do Sul Formation. In a paleoenvironmental context this trait is registered in marine to non-marine environments.

Ichnogenus: *Sarilichnus* new ichnogenus (Figure 5).

Ichnospecies: *Sarilichnus rhythmicus* isp. nov.

Etymology: The ichnogenus name is derived from major behavior that shows a locomotion based on jumps (*sarile* mean “jump” in Latin). And the ichnospecies name demonstrates the rocks where it was found.

Diagnoses: *Sarilichnus* is composed by 2 sets of impressions where one is formed by elongated imprints, perpendicular to the trace fossil orientation and the other is composed by pairs of circulars to oval imprints parallel to the trace direction.

Description: The traces have bilateral symmetry and are composed of two sets of structures (anterior and posterior). The anterior part is characterized by a varied number of elongate impressions sometimes split in two, perpendicular to the medial line. The posterior part is formed by circular to ellipsoidal resting traces, parallel to the medial line, most of the times connected to each other, some features contain three sequential ellipsoidal marks, parallel to the medial line with a mean interval of 10 mm between them. The specimens studied are preserved in a single jumping trail composed of 12 resting traces (called R1 to R12, Figure 6), arranged mainly in a straight line. The average length of each resting trace is 7.23 cm and width 5.13 cm, the average distance between the resting traces is 5.38 cm. The jumping trails is preserved in concave epirelief.

The tagmosis imprints demonstrate that this trace fossil is clearly an arthropod trace fossil, the anterior part exhibits a probable thorax imprint, (best example can be observed in R5, Figure 6). And the posterior impressions show appendices mark. The absence of lateral impressions difficult to suggest an insect producer, a possible explanation for this might be that these structures are weaker and did not sustained to erosion process, but further studies are needed to determinate that.

The main characteristics that can sustain to an insect trackway is the locomotion method. A systematic review were made by Minter & Braddy (2006) analyzed trackways made by wingless insects that move through jumps, and suggest that the main producer of jumping trackways were Monura insects. This group are an extinct taxon of insects and are know from Upper Carboniferous–Upper Permian of Europe, Siberia and North America (Minter & Braddy 2006). This insect had body subdivided in tarsus (3 or 5 tarsomeres) and maxillary palps very large, presenting similarities with the resting trace. Besides that, in the Itararé Group strata, there is one representation



of a *Monura* produced trace (see in Netto *et al.* 2012), so this group of insects could be a good candidate to be the producer of *Sarilichnus rhythmicus*.

## DISCUSSION

### 2.2.1 Sedimentary structures and trace fossil

The presence of an arthropod trace fossil preserved in rhythmic sample with asymmetrical ripple marks, rain drops impression and MISS can contribute to a better understanding of paleoenvironment setting taphonomy. Ripple marks in the silty layer can suggest a water flux, possible generated by glacier water melt or sea water incursion. These inferences agree with recent studies (e.g., Nogueira & Netto 2001a; Lima *et al.* 2015; Noll & Netto 2018) that approached that this rhythmites could be formed in a supratidal environment or even in ephemeral, shallow water bodies filled by freshwater from glacier melting (Lima *et al.* 2015).

Noll & Netto (2018) analyzed the MISS material that covers most the layers in the rhythmites of Trombudo Central quarries, and realize that the microbial mat was an important taphonomic factor, that made it possible to preserve different sedimentary structures (trace fossil, ripples and rain drops). Besides, similar situations can be seen in the rhythmites of Tonganoxie Sandstone Member (Stranger Formation) Kansas, USA (Mángano *et al.* 1997), where similar deposits with analogous sedimentary structures and trace fossil assemblage indicate an upper tidal flat, close to the fluvial-estuarine transition. The rain drops structures, according to Picard & High (1973), could diagnose environments such as lake margins and tidal flats. Rain drops (Figure 4 A-B) also indicate moments of subaerial exposure and dryness of the environment, where its plasticity could have been maintained by the presence of MISS (NOLL & NETTO 2018).

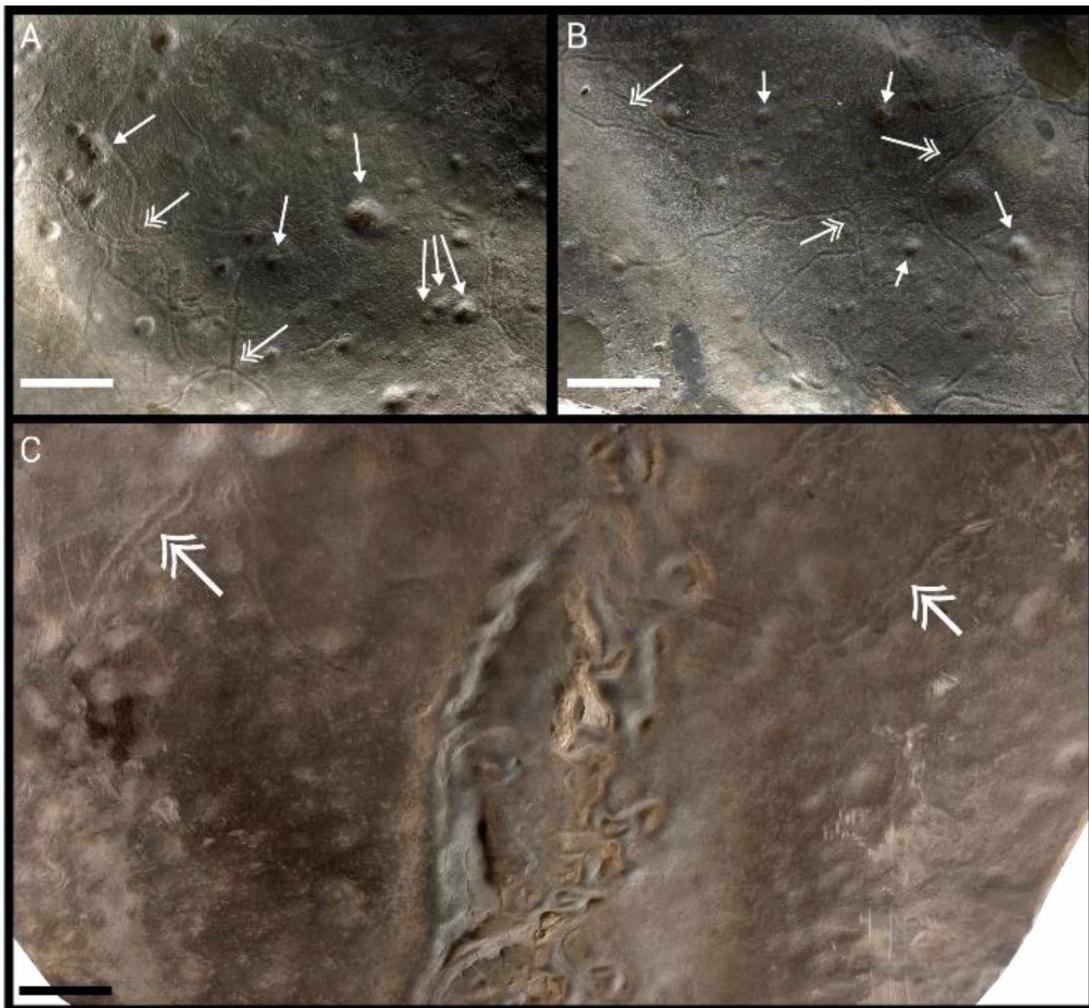


Fig 4.

Additional structures and ichnofossil in the UFPR 0042 IC A and UFPR 0042 IC B sample. A and B: simple arrows: raindrop marks, and double arrows: *Diplopodichnus biformis*. C: MISS in the center and *Diplopodichnus biformis*, pointed by double arrows. Scales: 5 cm.

### 2.2.2 Jumping trackway

Trace fossil of jumping trackways are rare in the fossil record, when compared to trails and burrows. To the Gondwana strata, none have been found so far. The specimen studied here present a high level of preservation and is possible to identify the imprint of an arthropod body. *Sarilichnus rhythmicus* share a few features with other ichnotaxons that was supposed made by animal that used jump as a locomotory mean.

The ichnogenus *Tonganoxichnus* isp. Mángano *et al.* (1997) shows a bilateral and horizontal impression of thorax and abdomen, and the authors suggest that the trace makers was a Monura insect. This genus have a stratigraphic range that extends from the Late Carboniferous through the Middle Triassic (Bechly & Stockar 2011). However, this ichnogenus presents posterior and lateral appendices impression,

differing from *Sarilichnus*. The only representative of *Tonganoxichnus* in Gondwanan strata was presented by Netto *et al.* (2012), who demonstrate the presence of wingless insects in glacial influenced strata of Itararé Group.

Another hypothesis that suggest a Monura insect as a producer is that the organism may have contracted the appendices during the jump or used mainly the thorax and abdomen strength to realize the movements while the appendices were raised. This hypothesis was verified by Getty *et al.* (2013), who developed neo-ichnology analyze with modern insects without wings to understand the pattern of movement. Yet, futures studies are necessary to get better results.

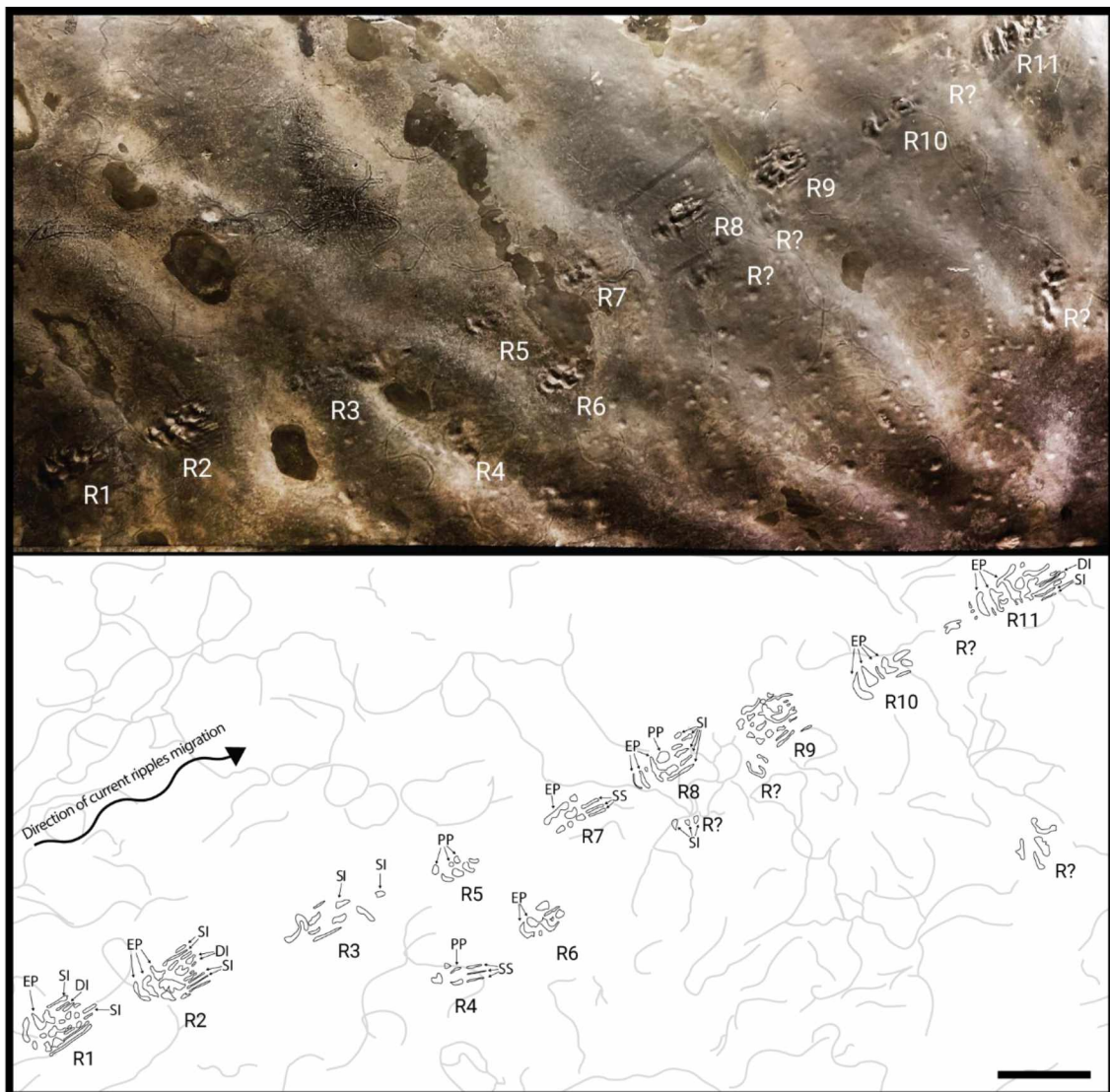


Fig 5. Holotype sample of *Sarilichnus rhythmicus* and diagram showing the sequence of tracks. Abbreviations: R: resting trace, R?: undefined resting trace, DI: double impression, EP: eroded pair, SI: single impression and PP: pair of posterior appendages. All the lines in the background are representation of *Helminthoidichnites tenuis*. Scale bar: 10 cm.

### 2.2.3

### 2.2.4 Paleoenvironment implications

In the late Paleozoic, the Rio do Sul Formation records the end of glacial period in the Paraná Basin, and several works were performed intending to reconstruct the paleoenvironment. However, there were disagreements over the years mainly because facies and ichnology-oriented researches have resulted in dubious interpretations.

Nogueira & Netto (2001*b*) reported the presence of acritarchs in the rhythmites of Trombudo Central. According Félix & Souza (2012), these organisms are indicators of marginal marine environments close to the coastline. Netto *et al.* (2009, 2012*a*) have argued that suites where arthropod tracks are predominant characterize non-marine (fresh water) environments. And Lima *et al.* (2015) suggest that salinity may have been reduced by the seasonal input of meltwater. A low salinity setting is corroborated by results of Marques-Toigo *et al.* (1989), who identified palynomorphs of freshwater environment (*Botryococcus*) in these deposits. These characteristics can be found in similar paleoenvironments, as shallow ponds filled by meltwater as discussed by Buatois *et al.* (2010).

The topmost rhythmite deposits of the Rio do Sul Formation represents a regressive succession (França & Potter 1988; Milani *et al.* 2007). The presence of dropstones and till pellets in these rhythmites suggest a glacial influence in the depositional environment (e.g., Thomas & Connell 1985). Although facies characteristics propose a subaqueous environment (Rocha-Campos 1967; Schneider *et al.* 1974; França & Potter 1988). The subaerial ichnofauna (e.g. Lima *et al.* 2015 and Noll & Netto 2018) and the jumping trackway, in turn, reported in this work (*Sarilichnus rhythmicus*) suggest temporary exposure of the substrates (Figure 6).



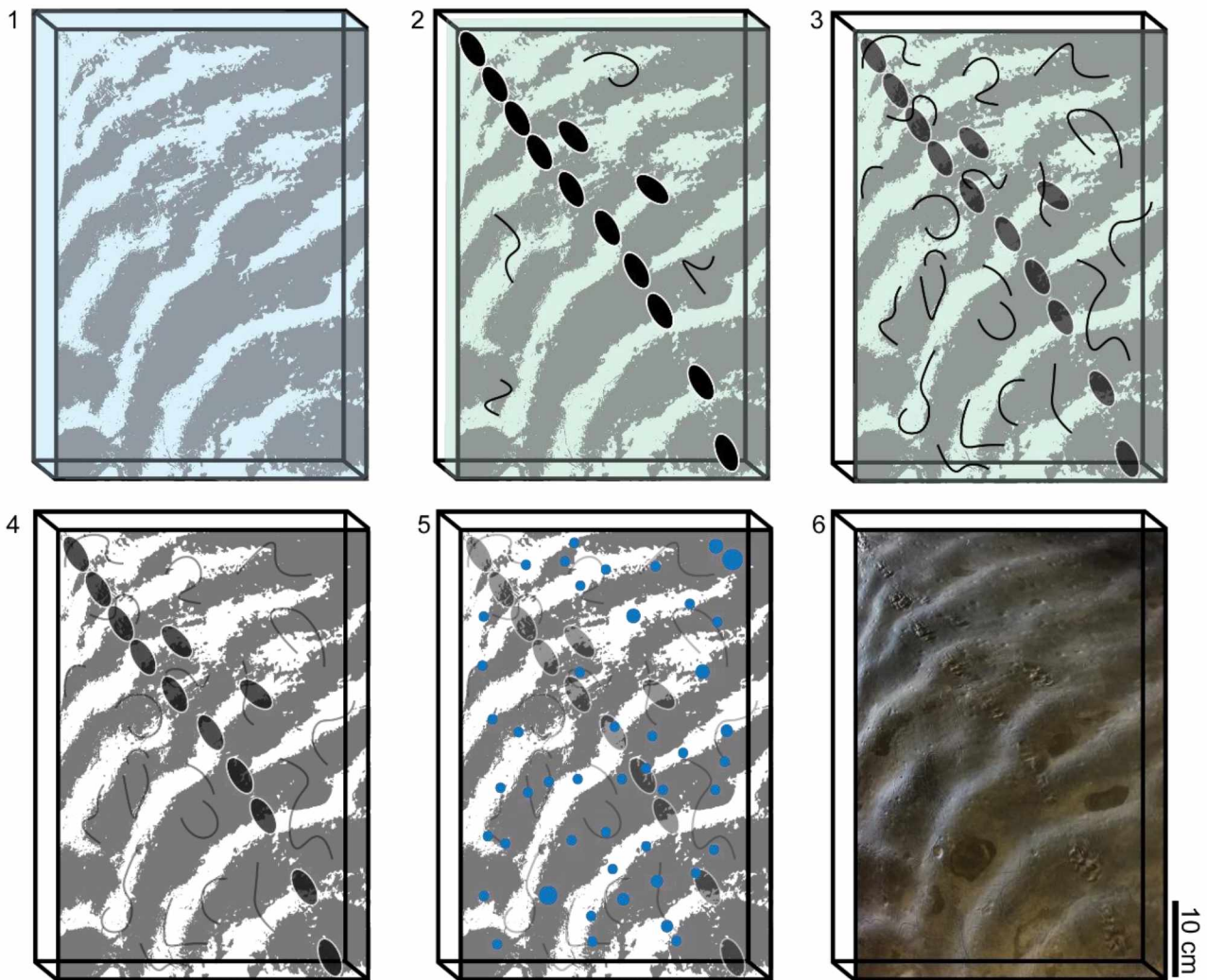


Fig. 6. Schematic diagram showing the formation of structures observed in UFPR 0042 A sample.

1. The water flow generates ripple marks. 2. The water level decreases and microbial mats start to grow. Some invertebrates start to colonize and leave impressions. At this moment the *Sarilichnus rhythmicus* producer leave a jumping trackway. 3. The water level decreases again and more worm-like animals colonize the environment. 4. The substrate gets soaked. 5. Rain marks are preserved on the substrate. 6. The UFPR 0042 IC A, with all the sedimentary process registered.

## 2.3 CONCLUSION

The aim of the present research was to examine and describe a new jumping trackway for the upper Paleozoic strata. This study has found that this trace fossil, the *Sarilichnus rhythmicus*, a new ichnogenus and ichnospecies, was produced by an arthropod, possibly from the Monura group, based on the morphology, behavior and comparison with other ichnotaxons. Thus, the presence of this trackway can suggest a paleoenvironment with moments of subaerial exposure, and give one more evidence

of a possible tidal flat setting. Besides that, the use of ichnology as a tool for paleoenvironmental reconstructions of glacial environments is an efficient technique, especially when there is ichnological material in great abundance and high level of preservation.

## 2.4 ACKNOWLEDGMENTS

To CAPES, for financial support. To the owners of the quarries which this research took place, specially to Comércio e Mineração de Pedras Ltda Company. And to the team of Paleontology Laboratory of UFPR (LABPALEO).

## 2.5 REFERENCES

- Balistieri, P., Netto, R.G. and Lavina, E.L.C. 2003: Icnofauna de ritmitos do topo da Formação Mafra (Permo-Carbonífero da Bacia do Paraná) em Rio Negro, Estado do Paraná (PR), Brasil. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina* 9, 131–139.
- Bechly, G. and Stockar, R. 2011: The first Mesozoic record of the extinct apterygote insect genus *Dasyleptus* (Insecta: Archaeognatha: Monura: Dasyleptidae) from the Triassic of Monte San Giorgio (Switzerland). 16.
- Benton, M.J. and Harper, D.A.T. 2009: *Introduction to paleobiology and the fossil record*. Wiley-Blackwell, Chichester, UK.
- Bertling, M., Braddy, S.J., Bromley, R.G., Demathieu, G.R., Genise, Mikuláš, R., Nielsen, J.K., Nielsen, K.S.S., Rindsberg, A.K., Schlirf, M. and Uchman, A. 2007: Names for trace fossils: a uniform approach. *Lethaia* 39, 265–286.
- Braddy, S.J. 2003: Trackways-Arthropod Locomotion. In *Paleobiology II. Edited by Derek E G Briggs and Peter R Crowther., Vol. 78*, 470–470. Derek E.G. Briggs & Peter R. Crowther.
- Braddy, S.J. and Briggs, D.E.G. 2002: New Lower Permian nonmarine arthropod trace fossils from New Mexico and South Africa. *Journal of Paleontology* 76, 546–557.
- Bromley, R.G. 1996: *Trace Fossils: Biology, Taxonomy and Applications. In 1. Vol. 1*. Routledge, Londres.

- Buatois, L.A., Netto, R.G. and Mángano, M.G. 2010: Ichnology of late Paleozoic postglacial transgressive deposits in Gondwana: Reconstructing salinity conditions in coastal ecosystems affected by strong meltwater discharge. *Geological Society of America Special Papers* 468, 149–173.
- Cagliari, J., Lavina, E.L.C., Philipp, R.P., Tognoli, F.M.W., Basei, M.A.S. and Faccini, U.F. 2014: New Sakmarian ages for the Rio Bonito formation (Paraná Basin, southern Brazil) based on LA-ICP-MS U–Pb radiometric dating of zircons crystals. *Journal of South American Earth Sciences* 56, 265–277.
- Cagliari, J., Philipp, R.P., Buso, V.V., Netto, R.G., Hillebrand, P.K., Lopes, R. da C., Basei, M.A.S. and Faccini, U.F. 2016: Age constraints of the glaciation in the Paraná Basin: evidence from new U–Pb dates. *Journal of the Geological Society Special Volume*, 161–166.
- Corrêa, C.G., Lima, J.H.D. and Netto, R.G. 2014: Estudo neoicnológico como critério para a interpretação do registro fóssilífero: um exemplo com artrópodes terrestres. *Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Paleontologia* 2, 10.
- Crimes, T.P. 1975: The stratigraphical significance of trace fossils. *In The Study of Trace Fossils*, 109–130. Springer, Arcata, USA.
- Dias-Fabrício, M.E. and Guerra-Sommer, M. 1989: SÍNTESE DOS ESTUDOS ICNOLÓGICOS DO GRUPO ITARARÉ NO RIO GRANDE DO SUL. *Pesquisas em Geociências* 22, 71–88.
- Félix, C.M. and Souza, P.A. de. 2012: Acritarcos (grupo acritarcha evitt 1963): conceitos gerais, aplicações e importância na análise estratigráfica do intervalo pennsylvaniano e permiano da Bacia do Paraná. *Revista do Instituto Geológico* 33, 71–88.
- Fitch, A. 1850: *A historical, topographical & agricultural survey of the county of Washington*. New York State Agricultural Society, New York, 753-944.
- França, A.B. and Potter, P.E. 1988: Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1). *Boletim de Geociências da PETROBRAS* 2, 147–191.

- Getty, P.R., Sproule, R., Wagner, D.L. and Bush, A.M. 2013: Variation in wingless insect trace fossils: insights from neoichnology and the Pennsylvanian of Massachusetts. *PALAIOS* 28, 243–258.
- Knaust, D. 2012: Trace-Fossil Systematics. *In Developments in Sedimentology, Vol. 64*, 79–101. Elsevier, USA.
- Lima, J.H.D., Minter, N.J. and Netto, R.G. 2017: Insights from functional morphology and neoichnology for determining tracemakers: a case study of the reconstruction of an ancient glacial arthropod-dominated fauna. *Lethaia* 50, 576–590.
- Lima, J.H.D., Netto, R.G., Corrêa, C.G. and Lavina, E.L.C. 2015: Ichnology of deglaciation deposits from the Upper Carboniferous Rio do Sul Formation (Itararé Group, Paraná Basin) at central-east Santa Catarina State (southern Brazil). *Journal of South American Earth Sciences* 63, 137–148.
- Mángano, M.G., Buatois, L.A., Maples, C.G. and Lanier, W.P. 1997: Tonganoxichnus a new insect trace from the Upper Carboniferous of eastern Kansas. *Lethaia* 30, 113–125.
- Marques-Toigo, M., Elice Dias-Fabricio, M., Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzing, M. and Piccoli, A.E.M. 1989: Afloramento da área de Trombudo Central. Permiano Inferior, Santa Catarina: palinologia, icnologia e sedimentologia. *Anais do XI congresso brasileiro de paleontologia* 1, 126–150.
- Milani, E.J., Melo, J.H.G. de, Souza, P.A. de, Fernandes, L.A. and França, A.B. 2007: Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás* 15, 265–287.
- Minter, N.J. and Braddy, S.J. 2006: Walking and jumping with Palaeozoic apterygote insects: WALKING and JUMPING TRACES OF PALAEOZOIC INSECTS. *Palaeontology* 49, 827–835.
- Miller, W. C. 2007: *Trace fossils: concepts, problems, prospects. In.* (ed.) Vol. 1. Elsevier, Amsterdam.
- Minter, N.J., Braddy, S.J. and Davis, R.B. 2007: Between a rock and a hard place: arthropod trackways and ichnotaxonomy. *Lethaia* 40, 365–375.
- Netto, R.G., Balistieri, P.R.M.N., Lavina, E.L.C. and Silveira, D.M. 2009: Ichnological signatures of shallow freshwater lakes in the glacial Itararé Group (Mafra Formation,



Upper Carboniferous–Lower Permian of Paraná Basin, S Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 272, 240–255.

Netto, R.G., Tognoli, F.M.W., Gandini, R., Lima, J.H.D., GIBERT, J.M. de and Bosetti, E.P. 2012a: Ichnology of the phanerozoic deposits of southern Brazil: synthetic review. *In Ichnology of Latin America: Selected Papers. Monografias Da Sociedade Brasileira de Paleontologia, Vol. 2*, 37–68. Renata Guimarães Netto - Noelia Beatriz Carmona - Francisco Manoel Wohnrath Tognoli.

Neves, J.P., Anelli, L.E. and Simões, M.G. 2014: Early Permian post-glacial bivalve faunas of the Itararé Group, Paraná Basin, Brazil: Paleocology and biocorrelations with South American intraplate basins. *Journal of South American Earth Sciences* 52, 203–233.

Noll, S.H. and Netto, R.G. 2018: Microbially induced sedimentary structures in late Pennsylvanian glacial settings: A case study from the Gondwanan Paraná Basin. *Journal of South American Earth Sciences* 88, 385–398.

Nogueira, M. dos S. and Netto, R.G. 2001a: A presença de Cruziana nos sedimentos da Formação Rio do Sul (Grupo Itararé, Permiano-Carbonífero da Bacia do Paraná) na pedreira Itau-Itauna, Santa Catarina, Brasil. *Acta geologica leopoldensia. Estudos tecnológicos* 24, 387–396.

Nogueira, M. dos S. and Netto, R.G. 2001b: Icnofauna da Formação Rio do Sul (Grupo Itararé, Permiano da Bacia do Paraná) na pedreira Itau-Itauna, Santa Catarina, Brasil. *Acta geologica leopoldensia. Estudos tecnológicos* 24, 397–406.

Picard, M.D. and High, L.R. 1973: *Sedimentary structures of ephemeral streams. In Developments in Sedimentology*. Elsevier, Scientific Pub. Co, Amsterdam, New York, 130.

Pinto, I.D. 1990: A New Upper Carboniferous Paraplecopteran Insect from South Brazil. *Pesquisas em Geociências* 17, 7–10.

Pinto, I.D. and Sedor, F.A. 2000: A new Upper Carboniferous Blattoid from Mafra Formation. Itararé group, Paraná Basin, Brazil. *Pesquisas em Geociências* 27, 45–48.

Rocha-Campos, A.C. 1967: The Tubarão Group in the Brazilian Portion of the Paraná Basin. *Problems in Brazilian Gondwana Geology*, 344.

Schneider, R.L., Muhlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R., Daemon, R.F. and Nogueira, A.A. 1974: Revisão estratigráfica da bacia do Parana. *Anais do XXVIII congresso brasileiro de geologia* 28, 85.

Seilacher, A. 2007: *Trace fossil analysis*. Springer, Berlin.

Souza, P.A. 2006: Late Carboniferous palynostratigraphy of the Itararé Subgroup, northeastern Paraná Basin, Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology* 138, 9–29.

Taboada, A.C., Neves, J.P., Weinschütz, L.C., Pagani, M.A. and Simões, M.G. 2016: Eurydesma–Lyonia fauna (Early Permian) from the Itararé group, Paraná Basin (Brazil): A paleobiogeographic W–E trans-Gondwanan marine connection. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 449, 431–454.

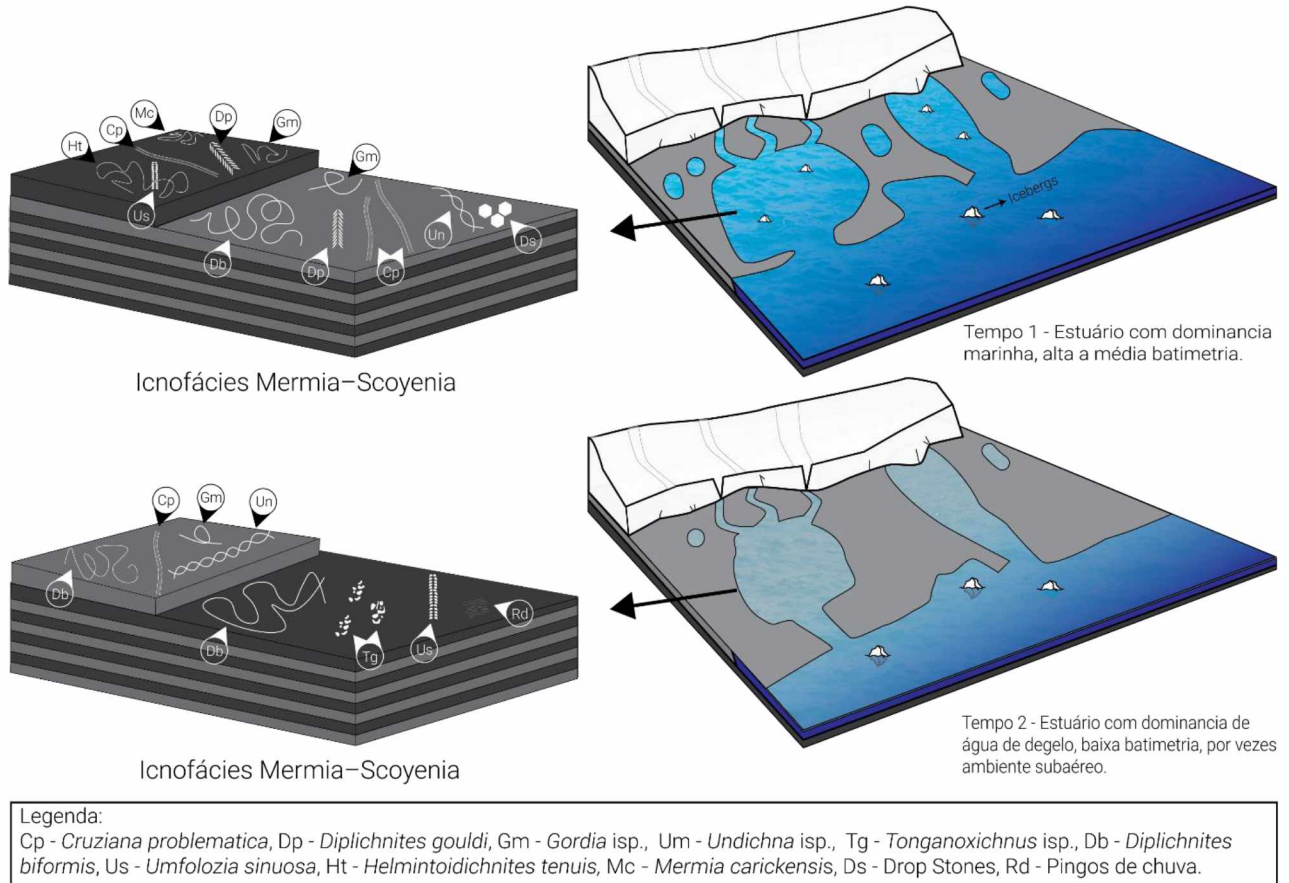
Thomas, G.S.P. and Connell, R.J. 1985: Iceberg drop, dump, and grounding structures from Pleistocene glacio-lacustrine sediments, Scotland. *Journal of Sedimentary Research* 55, 243–249.

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

## 2.6 RESULTADOS COMPLEMENTARES

A fim de atender as normativas do Programa de Pós-graduação em Geologia da UFPR, os principais resultados estão elencados no artigo contido no capítulo 2 deste manuscrito. Porém algumas informações relevantes devem ser elencadas posteriormente. Abaixo elenca-se um modelo do ambiente deposicional sugerido, onde foram formados os estratos ritmitos do topo da Formação Rio do Sul.

FIGURA 19 – Ambiente deposicional do topo da Formação Rio do Sul



### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da icnologia como técnica de reconstrução paleoambiental mostrou-se efetiva quando aplicada a ambientes de sedimentação sob influência glacial, principalmente quando não há fósseis nos estratos. Além disso, a execução desta pesquisa mostrou a necessidade da integração entre as análises estratigráficas e icnológicas, onde os dados destas ciências devem sempre serem analisados em conjunto.

A classificação do icnofóssil presente na amostra UFPR 0042IC A, tombada no Laboratório de Paleontologia da UFPR, integrada as análises faciológicas dos afloramentos estudados, possibilitaram a melhor compreensão de métodos de locomoção de artrópodes extintos, bem como pode auxiliar na reconstrução do paleoambiente dos ritmitos do topo da Formação Rio do Sul. E permitiu a sugestão de um meio aquoso marinho, possivelmente um estuário, com alta variação de batimetria,

podendo ser métrico a subaéreo, e com controle de salinidade fornecido por águas de degelo. Tornando-se, dessa forma, um meio fértil para colonização de uma fauna de artrópodes.

## REFERÊNCIAS

Antunes, R. de C. and Vesely, F.F. 2016: Interpretações ambientais da Formação Campo do Tenente com base em análises faciológica e icnológica. *Caderno de Resumos do SIEP 2016*, 163.

Antunes, R. de C. and Vesely, F.F. 2017: Caracterização e interpretação de feições sedimentares superficiais em ritmitos da Formação Campo do Tenente, PR. *Anais do X Simpósio Sul -Brasileiro de Geologia*, ST136.

Arab, P.B., Perinotto, J.A. de J. [UNESP and Assine, M.L. 2009: Grupo itararé (P - C da bacia do Paraná) nas regiões de Limeira e Piracicaba - SP: Contribuição ao estudo das litofácies. *Geociências* 28, 501–521.

Balistieri, P., Netto, R.G. and Lavina, E.L.C. 2002: Ichnofauna from the Upper Carboniferous-Lower Permian rhythmites from Mafra, Santa Catarina State, Brazil: ichnotaxonomy. *Revista Brasileira de Paleontologia* 4, 13–26.

Balistieri, P., Netto, R.G. and Lavina, E.L.C. 2003: Icnofauna de ritmitos do topo da Formação Mafra (Permo-Carbonífero da Bacia do Paraná) em Rio Negro, Estado do Paraná (PR), Brasil. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina* 9, 131–139.

Bechly, G. and Stockar, R. 2011: The first Mesozoic record of the extinct apterygote insect genus *Dasyleptus* (Insecta: Archaeognatha: Monura: Dasyleptidae) from the Triassic of Monte San Giorgio (Switzerland). 16.

Benton, M.J. and Harper, D.A.T. 2009: *Introduction to paleobiology and the fossil record*. Wiley-Blackwell, Chichester, UK, .

Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Kavali, P.S., Mune, S.E., Shivanna, M., Souza, P.A. de, Iannuzzi, R., Jasper, A., Hoelzel, A., Boardman, D.R., Rohn, R. and Ricardi-Branco, F. 2016: Pennsylvanian – Early Cisuralian interglacial macrofloristic succession in Paraná Basin of the State of São Paulo. *Journal of South American Earth Sciences* 72, 351–374.

Bertling, M., Braddy, S.J., Bromley, R.G., Demathieu, G.R., Genise, Mikuláš, R., Nielsen, J.K., Nielsen, K.S.S., Rindsberg, A.K., Schlirf, M. and Uchman, A. 2007: Names for trace fossils: a uniform approach. *Lethaia* 39, 265–286.

Braddy, S.J. 2003: Trackways-Arthropod Locomotion. *In Paleobiology II. Edited by Derek E G Briggs and Peter R Crowther., Vol. 78, 470–470. DEREK E.G. BRIGGS & PETER R. CROWTHER.*

Braddy, S.J. and Briggs, D.E.G. 2002: New Lower Permian nonmarine arthropod trace fossils from New Mexico and South Africa. *Journal of Paleontology* 76, 546–557.

Bromley, R.G. 1996: *Trace Fossils: Biology, Taxonomy and Applications*. In 1. Vol. 1. Routledge, Londres, 117.

Canuto, J.R. 1993: Facies e ambientes de sedimentação da Formação Rio do Sul (permiano), bacia do Paraná, na região de Rio do Sul, estado de Santa Catarina. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, São Paulo, 143pp.

Castro, M.R., Perinotto, J.A.J. and Castro, J.C. 2000: Stratigraphic framework of Rio do Sul and Rio Bonito (Triunfo Member) formations in the Hercílio river valley (SC), Paraná basin (Early Permian). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 72, 598–599.

Corrêa, C.G., Lima, J.H.D. and Netto, R.G. 2014: Estudo neocnológico como critério para a interpretação do registro fossilífero: um exemplo com artrópodes terrestres. *Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Paleontologia* 2, 10.

Crimes, T.P. 1975: The stratigraphical significance of trace fossils. In *The Study of Trace Fossils*, 109–130. Springer, Arcata, USA.

Dias-Fabrício, M.E. and Guerra-Sommer, M. 1989: SÍNTESE DOS ESTUDOS ICNOLÓGICOS DO GRUPO ITARARÉ NO RIO GRANDE DO SUL. *Pesquisas em Geociências* 22, 71–88.

Falkingham, P.L., Bates, K.T., Avanzini, M., Bennett, M., Bordy, E.M., Breithaupt, B.H., Castanera, D., Citton, P., Díaz-Martínez, I., Farlow, J.O., Fiorillo, A.R., Gatesy, S.M., Getty, P., Hatala, K.G., Hornung, J.J., Hyatt, J.A., Klein, H., Lallensack, J.N., Martin, A.J., Marty, D., Matthews, N.A., Meyer, C.A., Milàn, J., Minter, N.J., Razzolini, N.L., Romilio, A., Salisbury, S.W., Sciscio, L., Tanaka, I., Wiseman, A.L.A., Xing, L.D. and Belvedere, M. 2018: A standard protocol for documenting modern and fossil ichnological data. *Palaeontology* 61, 469–480.

França, A.B. and Potter, P.E. 1988: Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1). *Boletim de Geociências da PETROBRAS* 2, 147–191.

Hamel, M.-H. 2005: A new lower actinopterygian from the early permian of the paraná basin, brazil. *Journal of Vertebrate Paleontology* 25, 19–26.



Knaust, D. 2012: Trace-Fossil Systematics. *In Developments in Sedimentology, Vol. 64*, 79–101. Elsevier, USA.

Lima, J.H.D., Minter, N.J. and Netto, R.G. 2017: Insights from functional morphology and neoichnology for determining tracemakers: a case study of the reconstruction of an ancient glacial arthropod-dominated fauna. *Lethaia* 50, 576–590.

Lima, J.H.D., Netto, R.G., Corrêa, C.G. and Lavina, E.L.C. 2015: Ichnology of deglaciation deposits from the Upper Carboniferous Rio do Sul Formation (Itararé Group, Paraná Basin) at central-east Santa Catarina State (southern Brazil). *Journal of South American Earth Sciences* 63, 137–148.

Lucas, S.G., Lerner, A.J., Bruner, M. and Shipman, P. 2004: Middle Pennsylvanian Ichnofauna from Eastern Oklahoma, USA. *Ichnos* 11, 45–55.

Malabarba, M.C.L. 1988: A new genus and species of stem group actinopteran fish from the Lower Permian of Santa Catarina State, Brazil. *Zoological Journal of the Linnean Society* 94, 287–299.

Mángano, M.G., Buatois, L.A., Maples, C.G. and Lanier, W.P. 1997: Tonganoxichnus a new insect trace from the Upper Carboniferous of eastern Kansas. *Lethaia* 30, 113–125.

Marques-Toigo, M., Elice Dias-Fabricio, M., Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzing, M. and Piccoli, A.E.M. 1989: Afloramento da área de Trombudo Central. Permiano Inferior, Santa Catarina: palinologia, icnologia e sedimentologia. *Anais do XI congresso brasileiro de paleontologia* 1, 126–150.

Milani, E.J., Melo, J.H.G. de, Souza, P.A. de, Fernandes, L.A. and França, A.B. 2007: Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás* 15, 265–287.

Minter, N.J. and Braddy, S.J. 2006: Walking and jumping with Palaeozoic apterygote insects: WALKING and JUMPING TRACES OF PALAEOZOIC INSECTS. *Palaeontology* 49, 827–835.

Minter, N.J., Braddy, S.J. and Davis, R.B. 2007: Between a rock and a hard place: arthropod trackways and ichnotaxonomy. *Lethaia* 40, 365–375.

Mouro, L.D., Fernandes, A.C.S., Rogerio, D.W. and Fonseca, V.M. 2014: First Articulated Sponge from the Paleozoic of Brazil, and a New Organization of the Order Hemidiscosa. *Journal of Paleontology* 88, 171–178.

Mouro, L.D., Zatoń, M., Fernandes, A.C.S. and Waichel, B.L. 2016: Larval cases of caddisfly (Insecta: Trichoptera) affinity in Early Permian marine environments of Gondwana. *Scientific Reports* 6.

Mouro, L.D., HORODYSKI, R.S., FERNANDES, A.C.S., CARVALHO, M.D.A., SCOMAZZON, A.K. and SILVA, M.S.D. 2017: Sponges taphonomy and lower permian Lontras Shale taphofacies (Paraná Basin, Brasil). *XXV Congresso Brasileiro de Paleontologia*, 2.

Netto, R.G., Balistieri, P.R.M.N., Lavina, E.L.C. and Silveira, D.M. 2009: Ichnological signatures of shallow freshwater lakes in the glacial Itararé Group (Maфра Formation, Upper Carboniferous–Lower Permian of Paraná Basin, S Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 272, 240–255.

Netto, R.G., Tognoli, F.M.W., Gandini, R., Lima, J.H.D., GIBERT, J.M. de and Bosetti, E.P. 2012a: Ichnology of the phanerozoic deposits of southern Brazil: synthetic review. *In Ichnology of Latin America: Selected Papers. Monografias Da Sociedade Brasileira de Paleontologia, Vol. 2*, 37–68. Renata Guimarães Netto - Noelia Beatriz Carmona - Francisco Manoel Wohnrath Tognoli.

Netto, R.G., Benner, J.S., Buatois, L.A., Uchman, A., Mángano, M.G., Ridge, J.C., Kazakauskas, V. and Gaigalas, A. 2012b: Glacial Environments. *In Developments in Sedimentology, Vol. 64*, 299–327. Elsevier.

Neves, J.P., Anelli, L.E. and Simões, M.G. 2014: Early Permian post-glacial bivalve faunas of the Itararé Group, Paraná Basin, Brazil: Paleoecology and biocorrelations with South American intraplate basins. *Journal of South American Earth Sciences* 52, 203–233.

Noffke, N., Gerdes, G., Klenke, T. and Krumbein, W.E. 2001: Microbially Induced Sedimentary Structures—A New Category within the Classification of Primary Sedimentary Structures: PERSPECTIVES. *Journal of Sedimentary Research* 71, 649–656.

Nogueira, M. dos S. and Netto, R.G. 2001a: Icnofauna da Formacao Rio do Sul (Grupo Itarare, Permiano da Bacia do Parana) na pedreira Itau-Itauna, Santa Catarina, Brasil. *Acta geologica leopoldensia. Estudos tecnologicos* 24, 397–406.

Nogueira, M. dos S. and Netto, R.G. 2001b: Icnofauna da Formacao Rio do Sul (Grupo Itarare, Permiano da Bacia do Parana) na pedreira Itau-Itauna, Santa Catarina, Brasil. *Acta geologica leopoldensia. Estudos tecnologicos* 24, 397–406.

Nogueira, M. dos S. and Netto, R.G. 2001c: A presença de Cruziana nos sedimentos da Formacao Rio do Sul (Grupo Itarare, Permo-Carbonifero da Bacia do Parana) na pedreira Itau-Itauna, Santa Catarina, Brasil. *Acta geologica leopoldensia. Estudos tecnologicos* 24, 387–396.

Noll, S.H. and Netto, R.G. 2018: Microbially induced sedimentary structures in late Pennsylvanian glacial settings: A case study from the Gondwanan Paraná Basin. *Journal of South American Earth Sciences* 88, 385–398.

Ricetti, J.H.Z. and Weinschutz, L.C. 2011: Ocorrência de Escolecodontes (Annelida, Labidognatha) nas formações Mafra e Rio do Sul, Permo-Carbonífero da Bacia do Paraná, Brasil. *Paleontologia em Destaque* 64, 31–32.

Ricetti, J.H.Z., Schneider, J.W., Iannuzzi, R. and Weinschütz, L.C. 2016: Anthracoblattina mendesi Pinto et Sedor (Blattodea, Phylloblattidae): the most completely preserved South American Palaeozoic cockroach. *Revista Brasileira de Paleontologia* 19, 181–194.

Rocha-Campos, A.C., Ernesto, M. and Sundaram, D. 1981: Geological, palynological and paleomagnetic investigations on late Paleozoic vanites from the Paraná Basin. *2º Congresso Latino-americano de Paleontologia* 2, 257–275.

Santos, P.R. dos, Rocha-Campos, A.C. and Canuto, J.R. 1992: Estruturas de arrasto de icebergs em ritmito do Subgrupo Itararé (Neopaleozóico), Trombudo Central, SC. *Boletim IG-USP. Série Científica* 23, 1.

Schneider, R.L., Muhlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R., Daemon, R.F. and Nogueira, A.A. 1974: Revisão estratigráfica da bacia do Parana. *Anais do XXVIII congresso brasileiro de geologia* 28, 41–65.

Seilacher, A. 2007: *Trace fossil analysis*. Springer, Berlin, .

Simões, M.G., Neves, J.P., Anelli, L.E. and Weinschütz, L.C. 2012: Permian bivalves of the Taciba Formation, Itararé Group, Paraná Basin, and their biostratigraphic significance. *Geologia USP. Série Científica* 12, 71–82.

Souza, J.M. de and Iannuzzi, R. 2016: New occurrences of the genus Ottokaria Zeiller (Cisuralian, Paraná Basin, Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology* 234, 1–10.

Suss, J.F., Vesely, F.F., Catharina, A.S., Assine, M.L. and Paim, P.S.G. 2014: O Grupo Itararé (neocarbonífero-eopermiano) entre Porto Amazonas (PR) e Mafra (SC): sedimentação gravitacional em contexto marinho deltaico com influência glacial. *Geociências* 33, 701–719.

Taboada, A.C., Neves, J.P., Weinschütz, L.C., Pagani, M.A. and Simões, M.G. 2016: Eurydesma–Lyonia fauna (Early Permian) from the Itararé group, Paraná Basin (Brazil): A paleobiogeographic W–E trans-Gondwanan marine connection. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 449, 431–454.

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

Vesely, F.F. 2006: Dinâmica sedimentar e arquitetura estratigráfica do grupo itararé (carbonífero-permiano) no centro-leste da bacia do paraná. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Wilner, E. 2014: Análise preliminar das associações naturais de conodontes do folhelho lontras, Grupo Itararé, Cisuraliano da Bacia do Paraná na Região de Mafra, SC. Universidade do Contestado, Maripá.

Wilner, E., Lemos, V.B. and Scmazzon, A.K. 2016: Associações naturais de conodontes *Mesogondolella* spp., Grupo Itararé, Cisuraliano da Bacia do Paraná. *Gaea - Journal of Geoscience* 9, 30–36.

2007: *Trace fossils: concepts, problems, prospects*. In Miller, W. C. (ed.) Vol. 1. Elsevier, Amsterdam, 65.