



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – *CAMPUS* MONTE
CARMELO
INSTITUTO DE GEOGRAFIA

VITHOR DI DONATO

**CARACTERIZAÇÃO ICNOLÓGICA DO MEMBRO JAGUARIAÍVA NO
TESTEMUNHO 2-TB-1-PR (DEVONIANO DA BACIA DO PARANÁ)**

Monte Carmelo – MG

Janeiro/2023

VITHOR DI DONATO

**CARACTERIZAÇÃO ICNOLÓGICA DO MEMBRO JAGUARIAÍVA
NO TESTEMUNHO 2-TB-1-PR (DEVONIANO DA BACIA DO PARANÁ)**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Curso de Geologia do
Instituto de Geografia da Universidade
Federal de Uberlândia, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dra. Josiane Branco
Plantz (UFU)

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Sedorko
(MN/UFRJ)

Monte Carmelo – MG

Janeiro/2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Di Donato, Vithor.

Caracterização icnológica do membro Jaguariaíva no testemunho 2-TB- 1-PR (devoniano da Bacia do Paraná) / Di Donato, 2023. 73: il.

Orientador: Prof. Dra. Josiane Branco Plantz.

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Sedorko

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) -Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia, Monte Carmelo, 2023.

1. fácies sedimentares 2. Icnofácies 3. Devoniano 4. Membro Jaguariaíva I. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia. Faculdade de Geologia. Graduação em Geologia II. Título.

VITHOR DI DONATO

**CARACTERIZAÇÃO ICNOLÓGICA DO MEMBRO JAGUARIAÍVA
NO TESTEMUNHO 2-TB-1-PR (DEVONIANO DA BACIA DO PARANÁ)**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Curso de Geologia do
Instituto de Geografia da Universidade
Federal de Uberlândia, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título de
Bacharel em Geologia.

Monte Carmelo, 11 de janeiro de 2023.

Banca Examinadora:

Dra. Josiane Branco Plantz

Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Dra. Suzana Aparecida Matos da Silva

Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Dra. Sônia Maria Oliveira Agostinho da Silva

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. Daniel Sedorko por ter me dado a oportunidade de realizar este trabalho, além de todo o ensinamento e paciência.

À prof. Dra. Josiane Branco Plantz, por ter compartilhado ensinamentos comigo.

Ao prof. Leonardo Borghi, coordenador do LAGESED-UFRJ, que disponibilizou o testemunho de sondagem do poço 2-TB-1-PR, possibilitando a realização deste trabalho.

À prof. Dra. Liliane Ibrahim por ter me ajudado durante a primeira parte do trabalho.

À minha namorada Aline Dias Costa, por toda paciência e apoio durante toda esta trajetória.

À minha mãe, que acima de qualquer dificuldade, não mediu esforços para me manter estudando, visando sempre um futuro melhor para mim.

A todos os meus amigos, que buscaram me ajudar com quaisquer conversas geológicas ou apoio emocional.

A todos do Grupo Alto Paranaíba de Espeleologia (GAPE), por tudo o que eles representam para mim.

“Não existe triunfo sem perda,
não há vitória sem sofrimento,
não há liberdade sem sacrifício”.

J.R.R.Tolkien

RESUMO

O Membro Jaguariaíva, unidade basal da Formação Ponta Grossa, Devoniano Inferior da Bacia do Paraná, é constituído essencialmente por argilitos e siltitos argilosos laminados, dispostos em contato gradacional, sobre os arenitos da Formação Furnas. Além de possuir amplo registro paleontológico, composto por fósseis de invertebrados característicos da fauna Malvinocáfrica, bem como microfósseis, fósseis vegetais e, icnofósseis, o Membro Jaguariaíva é caracterizado pelos maiores valores de icnodisparidade dentre os estratos devonianos da Bacia do Paraná. Embora vários trabalhos de cunho icnológico tenham sido realizados para a Formação Ponta Grossa, poucos são os estudos que focam em dados de subsuperfície. A descrição do testemunho de sondagem 2-TB-1-PR permitiu o reconhecimento das duas formações do Grupo Paraná, sendo elas representadas pelo topo da Formação Furnas (432,6 - 451,6 m), em contato com a base da Formação Ponta Grossa (345,0 – 432,6), representada pelo Membro Jaguariaíva. Neste estudo foram reconhecidas as icnofábricas *Skolithos*, *Zoophycos*, *Palaeophycus*, *Chondrites*, *Rhizocorallium* – *Palaeophycus*, *Phycosiphon*, *Asterosoma*, *Asterosoma* – *Zoophycos* e *Asterosoma* – *Rhizocorallium* e *Glossifungites*. Estas icnofábricas correspondem às icnofácies *Skolithos*, *Glossifungites* e *Cruziana* nas expressões proximais, arquetípicas e distais. Por fim, a associação sedimentar e icnológica permitiu enquadrar o contexto paleodeposicional do Membro Jaguariaíva em configuração plataformal, sob condições marinhas rasas, incluindo o *shoreface* transicional, *offshore* transicional e *offshore*.

Palavras-chave: fácies sedimentares, icnofácies, Devoniano, Membro Jaguariaíva.

ABSTRACT

The Jaguariaíva Member, basal unit of the Ponta Grossa Formation, Lower Devonian of the Paraná Basin, is constituted essentially by claystones and laminated clayey siltstones, disposed in gradational contact on the sandstones of the Furnas Formation. In addition to having a broad paleontological record, consisting of paleoinvertebrates characteristic of the Malvinokaffric Realm, microfossils, plant fossils and trace fossils, the Jaguariaíva Member is characterized by the highest ichnodisparity values among the Devonian strata of the Paraná Basin.. Although several works of an ichnological nature have been carried out for the Ponta Grossa Formation, few are the studies that focus on subsurface data. Therefore, this work aimed to describe the sedimentary facies and the ichnological content of the interval corresponding to the Jaguariaíva Member (432 to 345 m), from the borehole core 2-TB-1 -PR, acquired on the eastern edge of the Paraná Basin, in the municipality of Tibagi, Paraná. The description of the drill core 2-TB-1-PR allowed the recognition of the two formations of the Paraná Group, which are represented by the top of the Furnas Formation (432.6 - 451.6 m), in contact with the base of the Ponta Grossa (345.0 – 432.6), represented by Member Jaguariaíva. In this study it is reported the *Skolithos*, *Zoophycos*, *Palaeophycus*, *Chondrites*, *Rhizocorallium* – *Palaeophycus*, *Phycosiphon*, *Asterosoma*, *Asterosoma* – *Zoophycos* and *Asterosoma* – *Rhizocorallium* and *Glossifungites* ichnofabrics. These ichnofabrics correspond to *Skolithos*, *Glossifungites* and *Cruziana* ichnofacies in proximal, archetypal, and distal expressions. Finally, the sedimentary and ichnological association allowed framing the paleodepositional context of the Jaguariaíva Member, in a configural platform, under shallow marine conditions, including the transitional shoreface, transitional offshore and offshore.

Palavras-chave: sedimentary facies, ichnofacies, Devonian, Jaguariaíva Member.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná.	18
Figura 2. Litoestratigrafia, interpretação paleoambiental e sequências deposicionais do Grupo Paraná.	20
Figura 3. Classificação estratinômica de icnofósseis	27
Figura 4. Distribuição dos icnofósseis em diferentes níveis.	28
Figura 5. Reconstrução esquemática da icnofácies <i>Skolithos</i>	31
Figura 6. Reconstrução esquemática da icnofácies <i>Cruziana</i>	32
Figura 7. Reconstrução esquemática da icnofácies <i>Glossifungites</i>	34
Figura 8. Mapa de localização do poço 2-TB-1-PR.	35
Figura 9. Índice de Bioturbação.....	37
Figura 10. Seção estratigráfica do intervalo 451,6 - 345 m do testemunho de sondagem 2-TB-1-PR.	39
Figura 11. A - Arenito maciço. B - Arenito intercalado com delgadas camadas argilosas, com estrutura cruzada planar. C - Arenito com porção centimétrica pavimentada por seixos e grânulos carbonáticos, evidenciando um contato erosivo. D - Contato entre o arenito grosso na porção inferior, com o arenito fino na porção superior, separados por uma camada decimétrica de argilito.	40
Figura 12. A- Arenito fino maciço, com presença de <i>Palaeophycus</i> . B- Arenito intercalado com centimétricas camadas argilosas, com <i>Chondrites</i> . C- Nível de argilito na parte superior e arenito maciço na parte inferior contendo <i>Chondrites</i> . D- Limite entre o arenito fino, com os pelitos do intervalo acima, marcado pela presença de grânulos e seixos.	41
Figura 13. A- Siltito arenoso bioturbado. B- Siltito laminado. C- Heterolito bioturbado.	42
Figura 14. A- Argilito laminado. B- Siltito com foliação plano paralela. C- Presença de contramolde de braquiópode piritizado.	43
Figura 15. A- Rocha com acamamento heterolítico lenticular. B- Rocha com acamamento heterolítico flaser, com elevado grau de bioturbação. C- Arenito siltico bioturbado. D- Arenito com estrutura cruzada acanalada e plano paralela, intercalado com níveis de argilito.	44

Figura 16. A- <i>Skolithos</i> em arenito mais grosso. B- <i>Skolithos</i> em arenito fino, com paredes bem lineadas. C- Presença de dois <i>Skolithos</i> , logo abaixo de uma superfície erosiva. D- <i>Skolithos</i> em arenito fino.	46
Figura 17. A- Icnofábrica <i>Glossifungites</i> , na profundidade 429 m. B- Icnofábrica <i>Glossifungites</i> , em profundidade 392 m.	48
Figura 18. A- Siltito arenoso, sendo bioturbado por <i>Zoophycos</i> . B- <i>Zoophycos</i> em argilito laminado.	49
Figura 19. A- Icnofábrica <i>Palaeophycus</i> , com <i>Asterosoma</i>	50
Figura 20. A- <i>Chondrites</i> associados a <i>Phycosiphon</i> . B- <i>Chondrites</i> em argilito laminado.	51
Figura 21. A- <i>Palaeophycus</i> em argilito. B- <i>Zoophycos</i> e <i>Asterosoma</i> associados na icnofábrica <i>Rhizocorallium-Palaeophycus</i> . C- Icnodiversidade e moderada a alta bioturbação em siltito arenoso, contendo <i>Rhizocorallium</i> , <i>Chondrites</i> , <i>Asterosoma</i> , <i>Planolites</i> e <i>Schaubcylindrichnus</i>	52
Figura 22. A- <i>Phycosiphon</i> , evidenciado pelas estruturas mais escuras em padrão mosqueado. B- Nível de <i>Phycosiphon</i> em padrão mosqueado, em argilito.	53
Figura 23. A- <i>Asterosoma</i> em siltito arenoso. B- <i>Asterosoma</i> em corte transversal, em siltito laminado. C- <i>Zoophycos</i> associados a <i>Asterosoma</i> . D- <i>Chondrites</i> associados a <i>Asterosoma</i>	54
Figura 24. A- <i>Asterosoma</i> em dois diferentes cortes. B- <i>Zoophycos</i> em fácies heterolíticas. C- Elevado índice de bioturbação, promovido pelo icnogênero <i>Zoophycos</i>	55
Figura 25. A- <i>Asterosoma</i> em arenito fino. B- <i>Rhizocorallium</i> , em arenito intercalado com argilito. C- <i>Asterosoma</i> em arenito fino, apresentando estrutura bulbosa.	56
Figura 26. Testemunho de sondagem do poço 2-TB-1-PR interpretado, com associação de fácies e icnofácies.	57
Figura 27. Paleoambiente deposicional interpretado para o intervalo entre 345,0 - 438,8 m do testemunho de sondagem do poço 2-TB-1-PR.	64

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Icnotaxobases.....	26
Quadro 2. Intervalos evidenciando uma síntese das descrições, estruturas sedimentares, fácies, índice de bioturbação (IB) e icnogêneros.....	38
Quadro 3. Síntese das icnofábricas, com seus respectivos icnogêneros acessórios, fácies sedimentares e índice de bioturbação (IB).....	46

SUMÁRIO:

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. JUSTIFICATIVA	16
3. OBJETIVOS	17
4. CONTEXTO GEOLÓGICO	17
4.1 Bacia do Paraná	17
4.2 Supersequência Paraná	19
4.3. Formação Furnas	21
4.4. Formação Ponta Grossa	22
4.4.1. <i>Membro Jaguariaíva</i>	22
4.4.2. <i>Membro Tibagi</i>	23
4.4.2. <i>Membro São Domingos</i>	23
5. PALEOAMBIENTES	23
6. REFERENCIAL TEÓRICO: ICNOLOGIA	25
6.1. Icnotaxobases.....	25
6.2. Classificação preservacional ou estratinômica	26
6.3. Distribuição dos traços fósseis em níveis	27
6.4. Icnofábricas.....	28
6.5. Icnofácies	29
6.5.1. Icnofácies <i>Skolithos</i>	29
6.5.2. Icnofácies <i>Cruziana</i>	31
6.5.3. Icnofácies <i>Glossifungites</i>	32
7. MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
8. RESULTADOS.....	37
8.1. Descrição Sedimentar	37
8.1.1. 1º Intervalo: ~453 m – 441 m	40
8.1.2. 2º Intervalo: 441 m – 432 m	40

8.1.3. 3° Intervalo: 432 m - 411 m	41
8.1.4. 4° Intervalo: 411 m – 370 m	42
8.1.5. 5° Intervalo: 370 m – 345 m	43
8.2. Icnofábricas.....	45
8.2.1. Icnofábrica <i>Skolithos</i>	45
8.2.2. Icnofábrica <i>Glossifungites</i>	48
8.2.3. Icnofábrica <i>Zoophycos</i>	48
8.2.4. Icnofábrica <i>Palaeophycus</i>	49
8.2.5. Icnofábrica <i>Chondrites</i>	50
8.2.6. Icnofábrica <i>Rhizocorallium</i> – <i>Palaeophycus</i>	51
8.2.7. Icnofábrica <i>Phycosiphon</i>	52
8.2.8. Icnofábrica <i>Asterosoma</i>	53
8.2.9. Icnofábrica <i>Asterosoma</i> – <i>Zoophycos</i>	54
8.2.10. Icnofábrica <i>Asterosoma</i> – <i>Rhizocorallium</i>	55
9. DISCUSSÃO	56
9.1. <i>Shoreface</i> transicional (FA-3): 438,8 - 432,6 m	58
9.2. <i>Offshore</i> transicional (FA2): 432,6 - 421,0 m.....	59
9.3. <i>Offshore</i> (FA1): 421 – 370 m	60
9.4. <i>Offshore</i> transicional (FA2): 370 – 345 m.....	61
9.5. Interpretação Paleoambiental.....	62
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
11. REFERÊNCIAS	66

1. INTRODUÇÃO

O Grupo Paraná (Siluro - Devoniano) é composto pelas formações Furnas e Ponta Grossa (PETRI, 1948; LANGE & PETRI, 1967; ASSINE, 1996; MILANI *et al.*, 2007; GRAHN *et al.*, 2013; SEDORKO *et al.*, 2017). Este intervalo estratigráfico guarda assinaturas de importantes transgressões marinhas (LOBATO & BORGHI, 2005). A Formação Ponta Grossa, formada pelos membros Jaguariaíva, Tibagi e São Domingos, situa-se sobre a Formação Furnas, em contato concordante gradacional, e é limitada, no topo, em contato discordante, pelo Grupo Itararé (LANGE & PETRI, 1967; ASSINE, 1996).

O Membro Jaguariaíva, objeto de interesse deste trabalho, é representado por um pacote de folhelhos sílticos, frequentemente micáceos e bioturbados, ricos em conteúdo fossilífero, que variam entre 50 e 100 metros de espessura (LANGE & PETRI, 1967). Ocorrem fósseis de invertebrados característicos da fauna Malvinocáfrica, assim como microfósseis, vegetais e icnofósseis (SEDORKO *et al.*, 2021).

Os primeiros trabalhos de cunho icnológico da Formação Ponta Grossa focaram em aspectos icnotaxonômicos, fornecendo interpretações paleoambientais (*e.g.*, CIGUEL, 1989; FERNANDES, 1996). Atualmente são reconhecidas três icnofácies para a unidade, sendo icnofácies *Cruziana*, *Skolithos* e *Glossifungites* (SEDORKO *et al.*, 2018) com estudos focados principalmente em dados de afloramentos.

Segundo Sedorko *et al.* (2019), o Membro Jaguariaíva representa os maiores valores de icnodisparidade dentre os estratos devonianos da Bacia do Paraná. Icnodisparidade, diferentemente da icnodiversidade, indica variações no modo de interação com o substrato e, assim, assinala uma medida da variabilidade de planos morfológicos em estruturas biogênicas (BROMLEY, 1996; BUATOIS & MÁNGANO, 2011).

A Formação Ponta Grossa, depositada em configurações de plataforma marinha, compreende três sequências deposicionais de terceira ordem, a saber: Siluro-Devoniano, Devoniano I e II (SEDORKO *et al.*, 2018). Neste contexto, o ambiente deposicional do Membro Jaguariaíva, pertencente a sequência deposicional Siluro-Devoniano (?Pridoli – Emsiano inicial), indica uma região sublitorânea influenciada por ondas e clima frio. A interpretação climática vem sendo abordada desde Clarke (1913), onde os principais fatores que corroboram para a interpretação são: ausência de corais e rochas calcárias

(comuns em sequências sedimentares devonianas do hemisfério norte), ausência de representantes de famílias tropicais de invertebrados devonianos, ampla ocorrência de bivalves, presença abundante de braquiópodes inarticulados e alta frequência de trilobitas (em relação a faunas contemporâneas do hemisfério norte) (CLARKE, 1913; DINIZ, 1985; CIGUEL, 1989; HORODYSKI *et al.*, 2019).

De acordo com datações realizadas a partir de estudos palinológicos por Grahn *et al.* (2010, 2013), o Membro Jaguariaíva tem sua deposição associada ao Pragiano tardio – Emsiano inicial. Neste intervalo se relata predomínio da icnofácies *Cruziana* arquetípica associada com a icnofácies *Skolithos* em configurações proximais, e em menores expressões, icnofácies *Cruziana* distal e icnofácies *Glossifungites* (SEDORKO *et al.*, 2021).

2. JUSTIFICATIVA

Embora o Membro Jaguariaíva apresente elevados valores de icnodisparidade e abundante conteúdo de icnofósseis, poucos trabalhos com ênfase em dados de subsuperfície foram publicados para a Formação Ponta Grossa (GAMA *et al.*, 2022; SEDORKO *et al.*, 2022). Gama *et al.*, 2022 indicaram a icnofácies *Zoophycos* como ocorrente no Membro Jaguariaíva, anteriormente descartada por Sedorko *et al.* (2018b), os quais reconheceram apenas as icnofácies *Skolithos*, *Cruziana* e *Glossifungites*. Gama *et al.* (2022) ainda reportaram *Macaronichnus* nos folhelhos da unidade, porém, a ocorrência parece corresponder a *Phycosiphon*, icnogênero muito comum no Membro Jaguariaíva.

A escassez de dados de subsuperfície tem impossibilitado a avaliação da sucessão vertical das icnofácies em uma unidade essencialmente pelítica, como o Membro Jaguariaíva. O correto reconhecimento das icnofácies e das litofácies, permite refinar o entendimento das condições paleoecológicas e paleoambientais. A descrição sedimentar é, portanto, crucial para a compreensão dos processos e dos mecanismos atuantes no paleoambiente deposicional, possibilitando interpretações sobre a energia do meio, taxa de sedimentação e transporte (SUGUIO, 2003). A identificação faciológica, promovida pela classificação de Selley (2000) e Walker (1992) permite, ao longo de um testemunho, o reconhecimento de variações laterais e verticais, assim como inferências paleoambientais e estratigráficas.

A análise icnológica é uma importante etapa na descrição e interpretação de testemunhos de poços, pois auxilia no reconhecimento dos possíveis autores/produtores dos registros icnológicos, assim como em inferências sobre as condições de consistência do substrato, taxa de deposição, salinidade e batimetria, em que os organismos habitavam (BROMLEY, 1996). Por sua vez, o estudo de icnofábricas é de grande relevância para a compreensão acerca da influência dos processos biogênicos na estrutura e na textura sedimentar em exposições bidimensionais, como coesão de grãos, porosidade, permeabilidade e, acumulação e migração de fluídos (EKDALE, BROMLEY, KNAUST, 2012). Neste sentido, a abordagem aqui proposta revisa os dados icnológicos para o Membro Jaguariaíva em subsuperfície buscando a compreensão dos ciclos deposicionais preservados na unidade.

3. OBJETIVOS

Este trabalho almeja caracterizar os icnofósseis e fácies do intervalo correspondente ao Membro Jaguariaíva (432 e 345 m; poço 2-TB-1-PR) inferindo as condições paleoecológicas representadas na unidade.

Os objetivos específicos são:

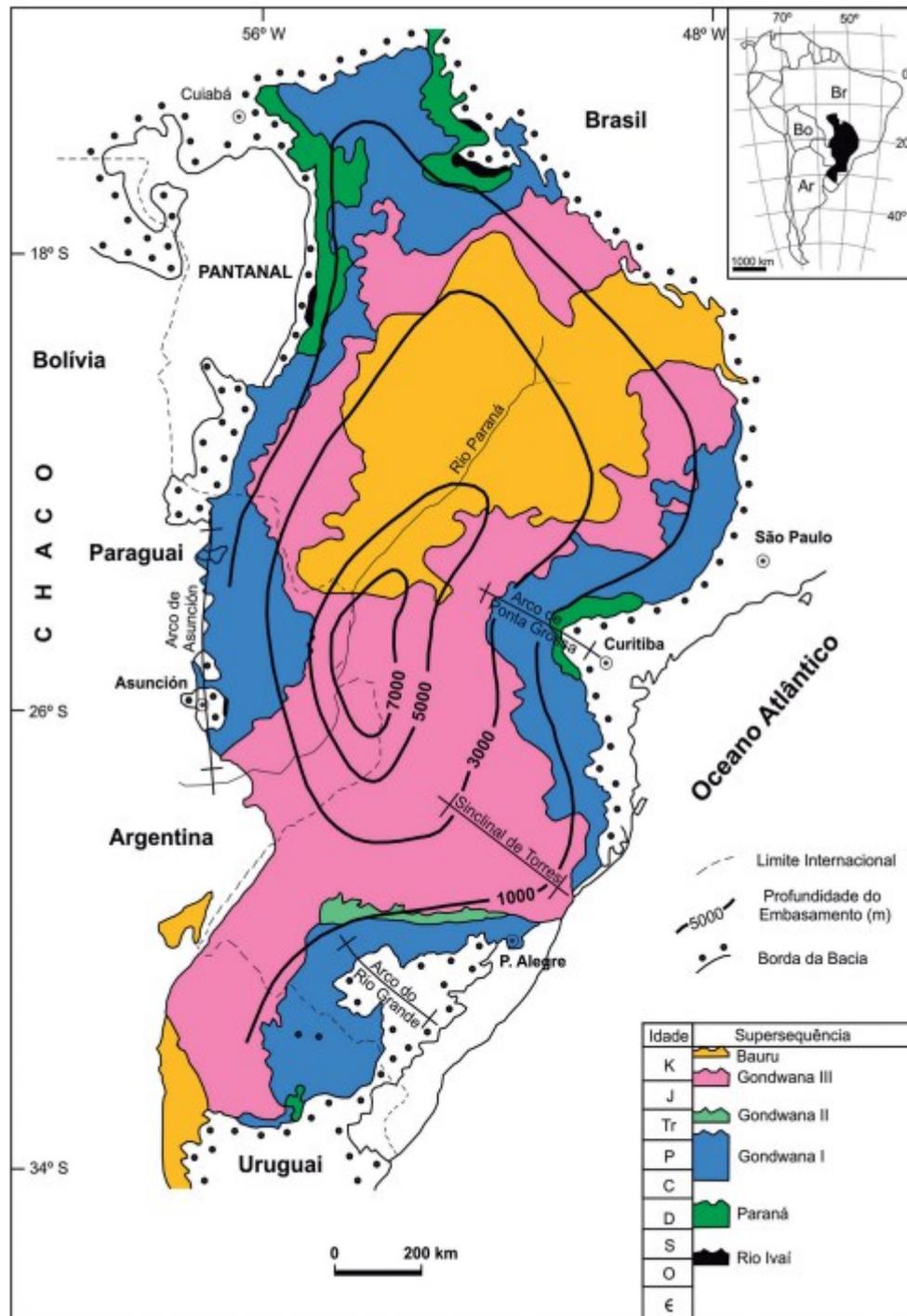
- i- Caracterizar o registro icnológico da área de estudo;
- ii- Realizar análise de fácies na seção em estudo;
- iii- Gerar modelo da evolução paleoambiental da sucessão.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO

4.1 Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná (figura 1), com eixo maior no sentido norte-sul, se estende geograficamente sobre o Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, contemplando uma área de mais de 1.500.000 quilômetros quadrados sobre o continente sul-americano (MILANI, 2004). Trata-se de uma bacia do tipo intracratônica, contida inteiramente na placa sul-americana (MILANI, 2004).

Figura 1. Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná.



Fonte: Milani (2004).

Segundo Milani *et al.* (2007), a Bacia do Paraná pode ser dividida em duas sub-bacias segundo o flanco leste e o flanco oeste. O flanco leste da bacia compreende uma porção erodida, produto do soerguimento crustal associado ao rifte do Atlântico Sul

(ZANOTTO, 1993). Já o flanco oeste, é caracterizado por um *bulge* flexural com orientação norte-sul, oriundo de uma sobrecarga litosférica promovida pelo cinturão orogênico andino (SHIRAIWA, 1994).

A evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná é relacionada a acreção de blocos alóctones, associados ao desenvolvimento de cinturões colisionais ativos, posicionados na margem sudoeste do paleocontinente Gondwana, chamados por Keidel (1916), de Gondwanides (MILANI *et al.*, 2007). Ao longo de todo o Fanerozoico, este contexto tectônico é marcado por diversos episódios de interação entre a convergência da borda ativa do Gondwana com a litosfera oceânica do Panthalassa (MILANI *et al.*, 2007).

Ao longo da evolução da Bacia Sedimentar do Paraná, Milani (2004) destaca dois ciclos tectono-sedimentares: Famatiniano e Gondwânico. Ciclo Famatiniano (Ordoviciano a Devoniano), associado as orogenias Oclóyica e Precordilheirana, as quais geraram dois pulsos de deformação compressiva e fenômenos sedimentares e magmáticos; e Ciclo Gondwânico (Carbonífero a Triássico) associado as orogenias Chanica e Sanrafaélica. Segundo Milani & Ramos (1998), convém dizer que a Bacia do Paraná pode ser caracterizada por sucessivas fases de acumulação sedimentar, alternadas por grandes hiatos deposicionais.

Milani (1997) dividiu o registro da Bacia do Paraná em seis unidades aloestratigráficas de segunda ordem, correspondentes as supersequências de Vail *et al.* (1977). Tais unidades, segundo Milani (2007), são reconhecidas como: Supersequência Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Supersequência Paraná (Siluro-Devoniano), Supersequência Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Supersequência Gondwana II (Meso a Neotriássico), Supersequência Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Supersequência Bauru (Neocretáceo), que marcam entre 450 Ma (Neo-Ordoviciano) e 65 Ma (Eocretáceo), diferentes ciclos tectono-sedimentares.

4.2 Supersequência Paraná

As primeiras investigações do ponto de vista sedimentológico e paleontológico acerca da Supersequência Paraná, são atribuídas a trabalhos de Derby (1878), Kayser (1900), Clarke (1913) e Kozlowski (1913) (SALUMANI & BIGARELLA, 1967). A supersequência repousa comumente sobre os estratos ordovício-silurianos do Grupo Ivaí, mas, localmente, pode ser encontrada sobre o embasamento da Bacia do Paraná (MILANI *et al.*, 2007). Nota-se nesta supersequência espessamento progressivo para

oeste, refletindo um contexto tectono-sedimentar da margem gondwânica sul-ocidental, uma vez que as porções que sofreram subsidência, estavam sob a influência da configuração antepaís (MILANI, 2004).

O pacote Siluro-Devoniano da Supersequência Paraná, foi denominado litoestratigraficamente como Grupo Paraná (LANGE & PETRI, 1967). Segundo Milani *et al.* (2007), no Grupo Paraná, são reconhecidas duas unidades litoestratigráficas distintas (figura 2), uma arenosa, na parte inferior (Formação Furnas) e outra pelítica, sobreposta (Formação Ponta Grossa).

Figura 2. Litoestratigrafia, interpretação paleoambiental e seqüências deposicionais do Grupo Paraná.

	Litoestratigrafia		Ambiente	Seqüência		
	Formação	Membro		Assine (1996)	Bergamaschi (1999)	Espessura Máx. (m)
Grupo Paraná	Ponta Grossa	São Domingos	Plataforma interior a Plataforma exterior	Eifeliano-Franiano	F	634
					E	
					D	
					C	
		Jaguariaíva		Praguiano-Eifeliano	B	
	Furnas	Superior	Fluvial ou Marinho marginal	Lochkoviano	A	130
Médio		130				
Inferior		40				

Fonte: Lange e Petri (1967); Assine (1996); Bergamaschi (1999).

4.3. Formação Furnas

Bergamaschi (1999), por meio da distribuição espacial de associações faciológicas, reconhecidas na borda leste da Bacia do Paraná, interpretou a Formação Furnas como sendo um sistema caracterizado por um paleoambiente marinho raso (litorâneo a costeiro), a um deltaico-estuarino. Em direção ao topo, a Formação Furnas é marcada por progradações deltaicas e litorâneas, permitindo interpretar uma tendência regressiva (BERGAMASCHI, 1999).

Segundo Milani *et al.* (2007), a Formação Furnas compreende uma sucessão de arenitos quartzosos com frequentes estratificações cruzadas, e de granulometria média a grossa. A partir das diferentes associações faciológicas descritas para a Formação Furnas, Assine (1999) definiu três intervalos, sendo eles: intervalo inferior, intervalo intermediário e intervalo superior.

No intervalo inferior, predominam níveis conglomeráticos, com até 1 m de espessura, mas também ocorrem arenitos médios a muito grossos, ricos em grânulos. Neste intervalo, são comuns estratificações cruzadas planares e acanaladas, estratificações plano paralelas e, sendo menos frequentes, estratificações do tipo espinha de peixe (ASSINE, 1999; BERGAMASCHI, 1999).

Segundo Assine (1996), no intervalo intermediário predomina um pacote estratificado, composto por arenitos de granulometria média, intercalados com níveis delgados de siltitos e folhelhos ricos em muscovita, assim como pontuais camadas de conglomerados. Nota-se, portanto, a diminuição dos níveis conglomeráticos, assim como a diminuição granulométrica. Neste intervalo, ocorrem estratificações cruzadas do tipo espinha de peixe, laminações cruzadas por onda e icnogêneros pertencentes a icnofácies *Cruziana* (ASSINE, 1999; SEDORKO *et al.*, 2017).

No intervalo superior predominam arenitos com granulometria variando de média a grossa, com aumento de níveis conglomeráticos, pontuais camadas de arenitos finos, marcados pela presença de estratificação cruzada *hummocky* e laminações cruzadas por onda (ASSINE, 1996, 1999). Ressalta-se a presença de siltitos no topo, com restos de plantas e palinomorfos, bem como icnogêneros da icnofácies *Skolithos* (BORGHI, 1993; FERNANDES, 1996) e densa associação com icnofábrica *Rosselia* (NETTO *et al.*, 2014).

Segundo Petri (1948), nas “camadas de transição”, pertencentes ao topo do intervalo superior ocorrem arenitos com estratificação cruzada *hummocky* e laminação cruzada por ondas, intercalados com níveis argilosos. Neste intervalo há um aumento na

quantidade de argila em direção ao topo do intervalo superior e, portanto, fortalece a evidência de uma passagem gradacional, caracterizada por um conjunto de fácies com granodecrescência ascendente, entre a Formação Furnas e a Formação Ponta Grossa. (PETRI, 1948 *apud* MILANI *et al.*, 2007). Contudo, Grahn *et al.* (2010) reportou um hiato de até 4 Ma entre as unidades.

4.4. Formação Ponta Grossa

Segundo Lange & Petri (1967), a Formação Ponta Grossa é constituída por rochas de granulometria predominantemente fina ($< 0,062$ mm), sendo ser dividida da base para o topo nos membros Jaguariaíva (Pragianos – Emsianos), Tibagi (Emsiano-Eifeliano) e São Domingos (Eifeliano – Neofrasniano) (MILANI *et al.*, 2007; Grahn *et al.*, 2013). O topo do membro São Domingos é separado da base do Grupo Itararé (sobreposto a Formação Ponta Grossa), por meio de uma expressiva lacuna deposicional, definida por uma discordância regional, reflexo de um contexto paleoclimático em que a porção sul-ocidental do Gondwana passava por extensa glaciação (MILANI *et al.*, 2007).

4.4.1. Membro Jaguariaíva

O Membro Jaguariaíva ocorre em contato concordante e gradacional sobre a Formação Furnas, e é constituído essencialmente por folhelhos laminados, intercaladas a lentes de arenitos finos (ASSINE, 1996; BERGAMASCHI, 1999). Plantz *et al.* (2021) descreveu o Membro Jaguariaíva como sendo composto por siltitos arenosos intensamente bioturbados, siltitos laminados, e delgadas camadas de arenito muito fino, com estratificação cruzada *hummocky*, além de folhelhos laminados. O Membro Jaguariaíva foi depositado no intervalo entre Pragianos e Emsianos, sob um contexto de sistema marinho raso, dominado por ondas e tempestades (PETRI, 1948; BERGAMASCHI, 1999).

4.4.2. Membro Tibagi

Assine & Petri (1996) advogaram que o Membro Tibagi, correspondente a porção intermediária da Formação Ponta Grossa, é caracterizado por acamamento heterolítico lenticular, arenitos finos a muito finos, com granocrescência ascendente, intercalados com folhelhos laminados frequentemente bioturbados e, com elevado conteúdo fossilífero (e.g. BOSETTI *et al.*, 2010). A intercalação entre arenito e folhelho, representa uma ciclicidade caracterizada por uma variação nas intensidades deposicionais (LANGE & PETRI, 1967). Segundo Andrade e Camarço (1982) *apud* Milani *et al.* (2007), tal ciclicidade é reflexo de um contexto regressivo de progradação de sistemas deltaicos, provenientes da borda nordeste. Estudos posteriores argumentaram que algumas expressões do membro não possuem relação com fácies deltaicas, mas representam sistemas marinhos rasos (*shoreface* e *foreshore*; VARGAS *et al.*, 2020; SEDORKO *et al.*, 2021).

4.4.2. Membro São Domingos

O Membro São Domingos é essencialmente composto por folhelhos negros finamente laminados, por vezes betuminosos, siltitos com laminação cruzada por onda, intercalados com camadas de arenitos com granulometria fina que ora apresentam intensa bioturbação ora apresentam laminações cruzadas por ondas e estratificações cruzadas *hummocky* (LANGE & PETRI, 1967; MILANI *et al.*, 2007). Bergamaschi (1999) salientou que o Membro São Domingos indica um pico de transgressão marinha.

5. PALEOAMBIENTES

O paleoambiente deposicional da Formação Furnas já fora considerado fluvial *braided* (PEREIRA, 1992), mas dados icnológicos associados à análise faciológica corroboram contexto deposicional marinho raso (ASSINE, 1996; SEDORKO *et al.*, 2017). Estes depósitos gradam para fácies pelíticas na base da Formação Ponta Grossa, hoje chamado de Membro Jaguariaíva, em ambientes de *shoreface* a *offshore* (ASSINE, 1996; BERGAMASCHI, 1999; SEDORKO *et al.*, 2021).

Por sua vez, o ambiente deposicional do membro intermediário da Formação Ponta Grossa, hoje interpretado como Membro Tibagi, é compreendido como uma plataforma marinha rasa, dominada por ondas e, portanto, atribuíam-se a ele, um contexto sedimentar prográdacional, caracterizado pelos episódios de aumentos relativos do nível do mar (PEREIRA, 1992; BERGAMASCHI, 1999). O membro superior, que por sua vez corresponde atualmente ao Membro São Domingos, é interpretado por um paleoambiente de condições marinhas de *offshore* (PEREIRA, 1992; BERGAMASCHI, 1999).

Rodrigues *et al.* (1988), Bergamaschi (1992) e Dino *et al.* (1995) interpretaram o contato Furnas-Ponta Grossa, como sendo uma superfície de inundação marinha, marcada por uma transição em direção ao topo, de fácies de um sistema deltaico/costeiro (arenito médio), para fácies de ambientes litorâneos de *foreshore* a *shoreface* (arenitos finos e siltitos). Bergamaschi (1992 e 1999) sugeriu um contato de natureza abrupta, tendo em vista que os depósitos transicionais e litorâneos são sobrepostos pelos depósitos marinho-rasos de *shoreface* inferior e *offshore* do Membro Jaguariaíva, depositados sob condição de inundação, durante o estabelecimento de uma rápida transgressão.

Segundo Bergamaschi (1999), a perda de seção foi promovida pelo retrabalhamento de uma porção dos depósitos deltaico-costeiros, associados a ação de ondas, as quais promoveram uma superfície de ravinamento, a partir de uma retração do *shoreface* (*sensu* NUMMEDAL & SWIFT, 1987). O Membro Jaguariaíva é apontado como um ciclo de sedimentação que perdurou do Pragiano até o Emsiano, em escala de ciclo de 2ª ordem (BERGAMASCHI, 1999). Há predominância de pelitos intercalados subordinadamente com corpos de arenito (muito fino a fino), sendo ambos marcados por intensa bioturbação. Bergamaschi (1999) interpretou como agente principal de transporte nesta unidade, a ação de ondas e, principalmente, de tempestades.

Os eventos caracterizados por ondas e frequentes episódios de tempestades, promoviam o transporte do material erodido para na zona costeira, até a plataforma, e posteriormente, o redepôsitava como tempestitos (*sensu* SEILACHER, 1982; DELLA FÁVERA, 1990). Segundo Bergamaschi (1999), os tempestitos são presentes preferencialmente na zona de *shoreface* inferior, ou na transição para *offshore*, onde as faixas batimétricas estariam em níveis sob influência da ação de ondas normais e tempestade. No *shoreface* superior, no entanto, esta fácies frequentemente aparece remobilizada no registro, devido ao intenso retrabalhamento das ondas normais (BERGAMASCHI, 1999).

A porção mais basal do Membro Jaguariaíva é composta por um pacote de tempestitos, os quais são progressivamente sucedidos por folhelhos e siltitos, de *offshore*. Nesta fácies tempestítica é comum a ocorrência de siltitos frequentemente mosqueados e intensamente bioturbados, com influência de ação de ondas, arenitos muito finos a finos, com estratificações cruzadas do tipo *hummocky* (BERGAMASCHI, 1999).

No Membro Jaguariaíva, alguns ciclos também são frequentemente observados, sendo compostos por folhelhos e siltitos, comumente laminados e bioturbados, progressivamente recobertos por siltitos intercalados com níveis delgados de arenitos muito finos, com laminações cruzadas por onda (BERGAMASCHI, 1999). Estes ciclos são caracterizados pelo frequente engrossamento granulométrico e de raseamento para o topo (*coarsening – shoaling upward*), e segundo Walker (1992) *apud* Bergamaschi (1999), tal modelo de fácies indicaria um sistema marinho raso, dominado por ondas e tempestades.

Segundo Bergamaschi (1999), é possível evidenciar um limite inferior e um limite superior ao longo da sequência deposicional que ocorre associada ao Membro Jaguariaíva. O limite inferior é caracterizado por uma superfície transgressiva, a qual registra um súbito recobrimento (*onlap*) dos depósitos regressivos (transicionais e costeiros) sotopostos, marcando, portanto, o limite Furnas-Ponta Grossa (BERGAMASCHI, 1999). Por sua vez, o topo da sequência é marcado por um truncamento, que evidencia um pacote de arenito fino proveniente de um paleoambiente de *shoreface*, sobreposto a pelitos de um paleoambiente de *offshore* e, indica o contato com o Membro Tibagi (BERGAMASCHI, 1999). Contudo, o contato com o Membro Tibagi não ocorre com arenitos truncados no testemunho em análise (PLANTZ *et al.*, 2021; SEDORKO *et al.*, 2022).

6. REFERENCIAL TEÓRICO: ICNOLOGIA

6.1. Icnotaxobases

As icnotaxobases, como proposto por Bromley (1996), buscam descrever morfologicamente os icnofósseis. Este método consiste na caracterização das estruturas de bioturbação a partir da sua forma geral (aspectos morfológicos e disposição dos icnofósseis ao longo do substrato), limite da estrutura (paredes, presença ou não de

lineamentos), ramificação (verdadeira, falsa e de intersecção), modo de preenchimento (ativo ou passivo) e trilhas (quadro 1). Assim, este método permite classificar taxonomicamente os icnofósseis de acordo com sua morfologia, em duas categorias: icnogênero e icnoespécie.

Quadro 1. Icnotaxobases.

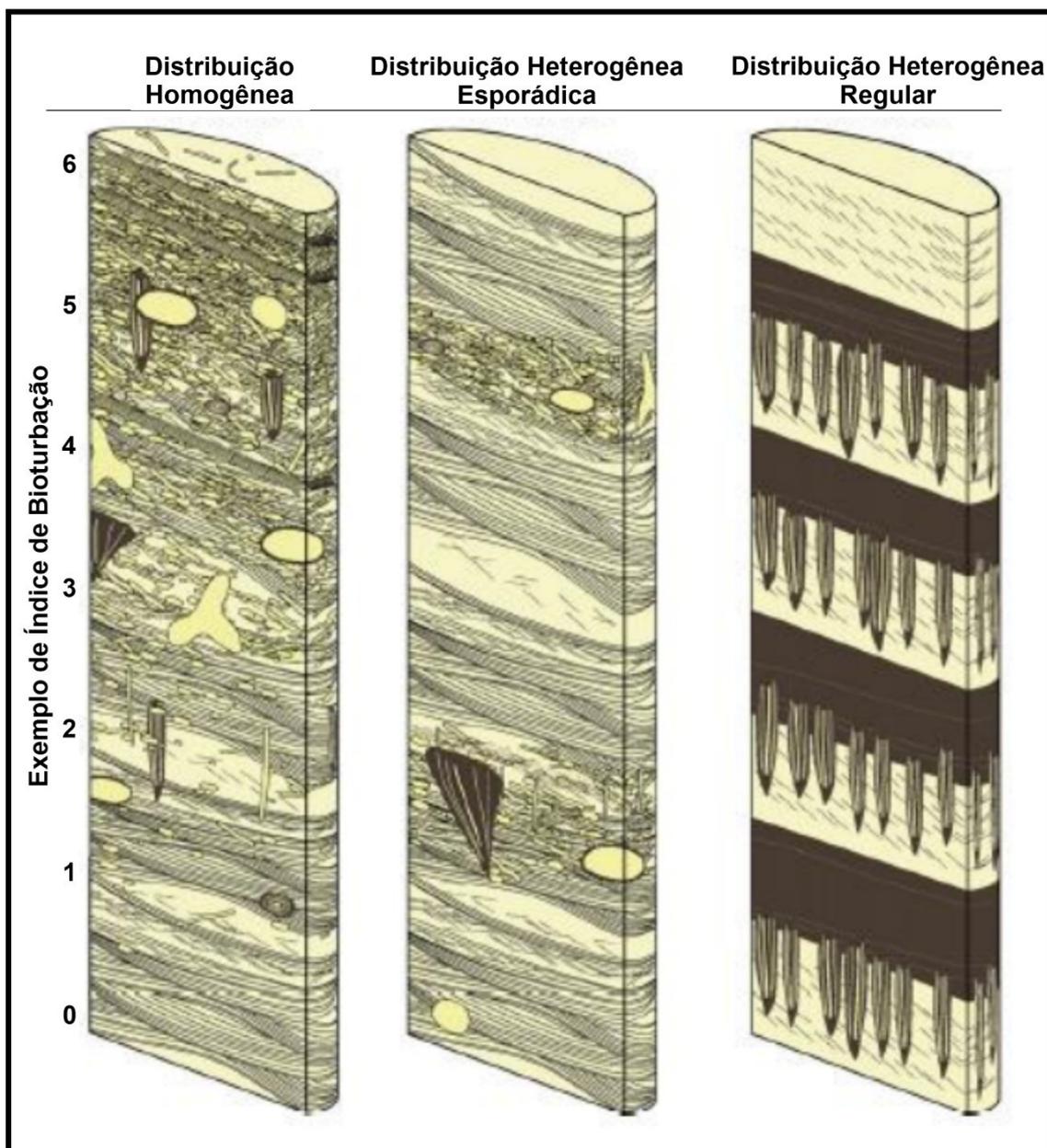
ICNOTAXOBASES						
FORMA GERAL	LIMITE DA ESTRUTURA		RAMIFICAÇÃO	PREENCHIMENTO	TRILHAS	
Aspecto Morfológico	Sem Lineação		Verdadeira	Passivo		Impressões de patas
	Orientação no estrato	Com Lineação		Falsa	Ativo	
Parede delimitada			Paletado			
Parede construída						
Parece com preenchimento zonado	Intersecção	Meniscado	Nado			
Parede / Limite ornamentada (o)						
Halo diagenético						

Fonte: modificado de Bromley (1996).

6.2. Classificação preservacional ou estratinômica

Seilacher (1964) propôs uma classificação para os icnofósseis dependendo da posição na camada, podendo ser relevo cheio ou semi-relevo (positivo ou negativo). Martinsson (1970) dividiu as ocorrências em 4 tipos, sendo elas: *exichnia*, *hypichnia*, *endichnia* e *epichnia*. Basicamente essa divisão respeita a relação entre a preservação do icnofóssil com o seu arranjo espacial ao longo da camada, *exichnia* (preservação fora da camada), *hypichnia* (preservação na base), *endichnia* (preservação no interior) e *epichnia* (preservação no topo) (figura 3).

Figura 4. Distribuição dos icnofósseis em diferentes níveis.



Fonte: Gingras *et al.* (2011).

6.4. Icnofábricas

Segundo Bromley e Ekdale (1986), o conceito de icnofábrica abrange todos os aspectos da textura e da estrutura interna de um substrato resultante tanto de bioturbação, como de bioerosão, em todas as escalas. Além disso, a aplicação deste conceito possibilita aos estudos icnológicos tradicionais, a abordagem de icnofábricas para reconstruções paleoambientais e, embora exista uma ênfase na sinecologia da comunidade

endobentônica, a icnofábrica também pode evidenciar a atuação de mais de uma comunidade (BUATOIS & MÁNGANO, 2011).

Cabe ressaltar que as icnofábricas influenciam e, muitas vezes até controlam os processos diagenéticos (EKDALE, BROMLEY e KNAUST, 2012). Segundo Gingras *et al.* (1999, 2004, 2011), a atividade biológica afeta o grau de empacotamento e coesão dos grãos, como por exemplo na geração de condutos, mobilidade por meio do sedimento, ou até mesmo na diminuição granulométrica por meio da atividade de ingestão de sedimento (EKDALE, BROMLEY e KNAUST, 2012).

Sendo assim, o grau de bioturbação ao longo de um depósito sedimentar é passível de avaliação por meio da abordagem de icnofábrica (EKDALE e BROMLEY, 1984). Outra atuação do estudo de icnofábricas é relacionado a influência dos organismos na perturbação do substrato e, por conseguinte, na porosidade e permeabilidade do sedimento (EKDALE, BROMLEY e KNAUST, 2012).

6.5. Icnofácies

A análise icnofaciológica proposta por Seilacher (1964) indica que a icnofácies é produto de um conjunto de atividades produzidas por diversos organismos em função dos parâmetros ecológicos do meio. Neste contexto, a caracterização, individualização e por fim, o entendimento das diferentes icnofácies, permite uma interpretação mais fiel do paleoambiente deposicional. Buatois & Mángano (2011) consideram 20 icnofácies, sendo elas divididas em: icnofácies marinhas de substrato inconsolidado (*Psilonichnus*, *Skolithos*, *Cruziana*, *Zoophycos*, *Nereites*), icnofácies controladas pelo substrato (*Glossifungites*, *Trypanites*, *Gnathichnus*, *Teredolites*), icnofácies continentais de invertebrados (*Scoyenia*, *Mermia*, *Coprinisphaera*, *Termitichnus*, *Celliforma*, *Octopodichnus–Entradichnus*) e icnofácies de vertebrados (*Chelichnus*, *Grallator*, *Brontopodus*, *Batrachichnus*, *Characichichnos*). As 3 icnofácies presentes no Membro Jaguariaíva são *Skolithos*, *Cruziana* e *Glossifungites* (SEDORKO *et al.*, 2018).

6.5.1. Icnofácies *Skolithos*

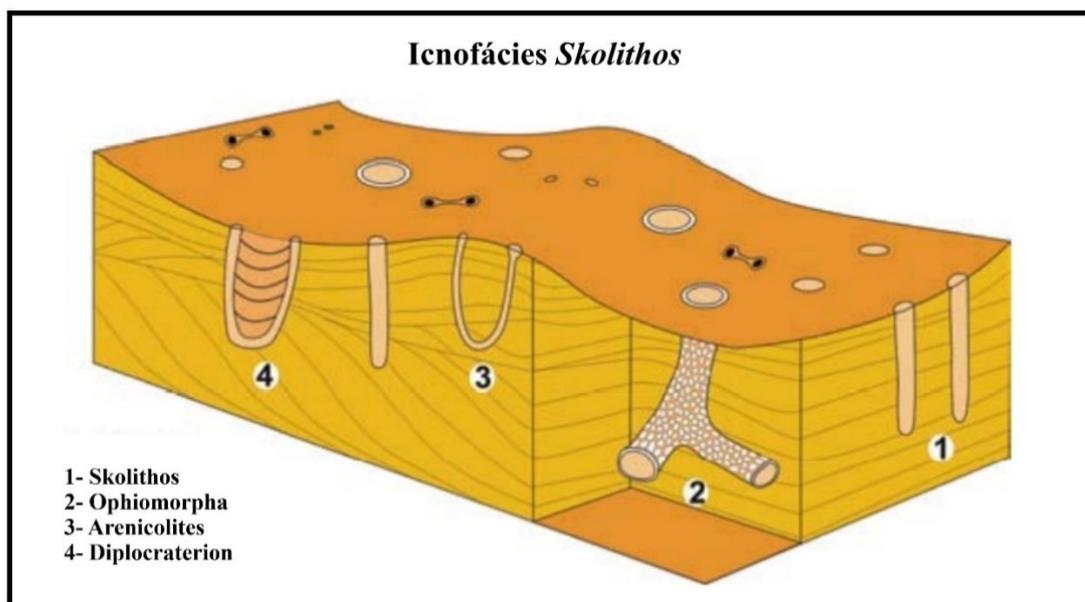
A icnofácies *Skolithos*, inicialmente proposta por Seilacher (1953) apresenta em sua maioria escavações de moradias verticalizadas, usualmente sem ramificação e com

morfologia cilíndrica, produzidas por organismos suspensívoros e predadores passivos e, portanto, é rara a ocorrência de estruturas horizontalizadas. Ainda, podem ocorrer estruturas que indiquem reposicionamento no substrato (*equilibrichnia*), como por exemplo, as escavações em formato de U, com *spreiten* e, subordinadamente, pode haver a presença de estruturas de escape. Na icnofácies *Skolithos* há uma abundância variável de organismos, no entanto, a baixa icnodiversidade é bastante característica (BUATOIS e MÁNGANO, 2011). Segundo Pollard *et al.* (1993), a baixa presença de estruturas de biotubação nesta icnofácies pode ser indicativa de um tempo curto de colonização (POLLARD *et al.*, 1993). Os agentes produtores são majoritariamente, crustáceos, anêmonas, vermes sipunculídeos e poliquetas, sendo os icnogêneros mais comuns: *Skolithos*, *Arenicolites*, *Diplocraterion*, *Ophiomorpha*, com ocorrências subordinadas de *Bergaueria* e *Conichnus* (BUATOIS & MÁNGANO, 2011).

O ambiente de desenvolvimento da icnofácies *Skolithos*, reflete, por meio do contexto sedimentar e icnológico, condições bem oxigenadas, com abundância de matéria orgânica em suspensão e maior energia hidrodinâmica (BROMLEY, 1990, 1996). Organismos com estratégias de predação passiva, não são muito comuns (RUPPERT *et al.*, 2004). O contexto mais energético é fortalecido por Buatois & Mángano (2011), os quais salientam que os organismos suspensívoros, frequentes nesta icnofácies, se submetidos a condições de menor energia hidrodinâmica, tendem a ser sufocados por lama. Além deste fator, de acordo com PEMBERTON *et al.* (2007), as escavações apresentam paredes delimitadas (*lining*) e estruturas de domicílio permanente, corroborando para uma interpretação de substrato inconsolidado e, portanto, instável.

A icnofácies *Skolithos* (figura 5) é frequente em ambientes homogêneos (PEMBERTON, 2001), geralmente variando do *foreshore* ao *shoreface* superior a médio, em contextos de linha de costa dominadas por ondas (BUATOIS & MÁNGANO, 2011), mas também pode ser preservada em linhas de costa dominadas por maré, em barras de inframaré e em lençóis de areia do intermaré, bem como em contexto deltaico, desembocadura de estuários e *spit bars* (SEDORKO & FRANCISCHINI, 2021). Por fim, há possibilidade da icnofácies *Skolithos* estar relacionada a contextos profundos, como por exemplo, tempestitos (*shoreface* inferior a *offshore*) (VOSSLER & PEMBERTON, 1988) ou turbiditos, que reproduzem as condições proximais (BUATOIS & MÁNGANO, 2011).

Figura 5. Reconstrução esquemática da icnofácies *Skolithos*.



Fonte: Buatois & Mángano (2011).

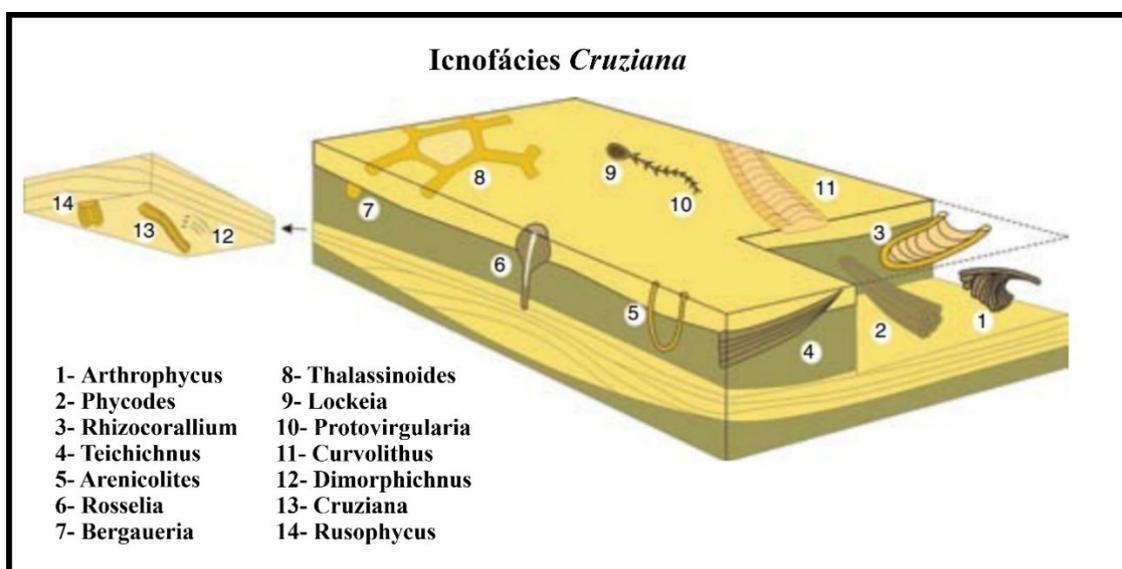
6.5.2. Icnofácies *Cruziana*

MacEachern *et al.* (1999) propuseram uma divisão com base em diferentes expressões para essa icnofácies, sendo elas, proximal, empobrecida, arquetípica e distal. De maneira geral, a icnofácies *Cruziana* (figura 6) é composta principalmente por estruturas horizontalizadas produzidas por organismos detritívoros e depositívoros, e composta subordinadamente por estruturas dispostas verticalmente no substrato, oriundas de organismos com comportamento predatório ou suspensívoro. A icnofácies *Cruziana* tende a apresentar uma icnodiversidade elevada, uma abundante variedade de hábitos tróficos, que, indicam condições ecológicas estáveis para o meio marinho (BUATOIS & MÁNGANO, 2011).

Como é majoritária a presença de organismos detritívoros e depositívoros, infere-se um ambiente de moderada energia hidrodinâmica, assim como uma alta disponibilidade de matéria orgânica no substrato, a qual decanta em menores condições energéticas (BUATOIS & MÁNGANO, 2011). A interpretação é que o desenvolvimento da icnofácies *Cruziana* tende a ocorrer comumente em zonas entre *offshore* transicional a *offshore*, em contexto marinho profundo (PEMBERTON *et al.*, 2001), mas subordinadamente, pode ocorrer também em zonas de estresse por variações na salinidade (*e.g.* estuários e lagunas; MACEACHERN & PEMBERTON, 1994).

Neste cenário, os principais organismos produtores são vermes, sobretudo poliquetas, assim como bivalves, gastrópodes, artrópodes, equinóides e ofiuróides. Os icnofósseis mais encontrados são registros principalmente de locomoção (*Cruziana*, *Didymaulichnus*, *Protovirgularia*, *Archaeonassa*, *Gyrochorte*, *Curvolithus*, *Diplichnites*, *Dimorphichnus* e *Monomorphichnus*), repouso (*Rudophycus*, *Asteriacites* e *Lockeia*), alimentação (*Rhizocorallium*, *Phycodes*, *Heimdallia*, *Arthropycus*, *Teichichnus*, *Phoebichnus*, *Phucosiphon* e *Asterossoma*) e moradia (*Paleophycus*, *Ophiomorpha* e *Thalassinoides*) (BUATOIS & MÁNGANO, 2011).

Figura 6. Reconstrução esquemática da icnofácies *Cruziana*.



Fonte: Buatois & Mángano (2011).

6.5.3. Icnofácies *Glossifungites*

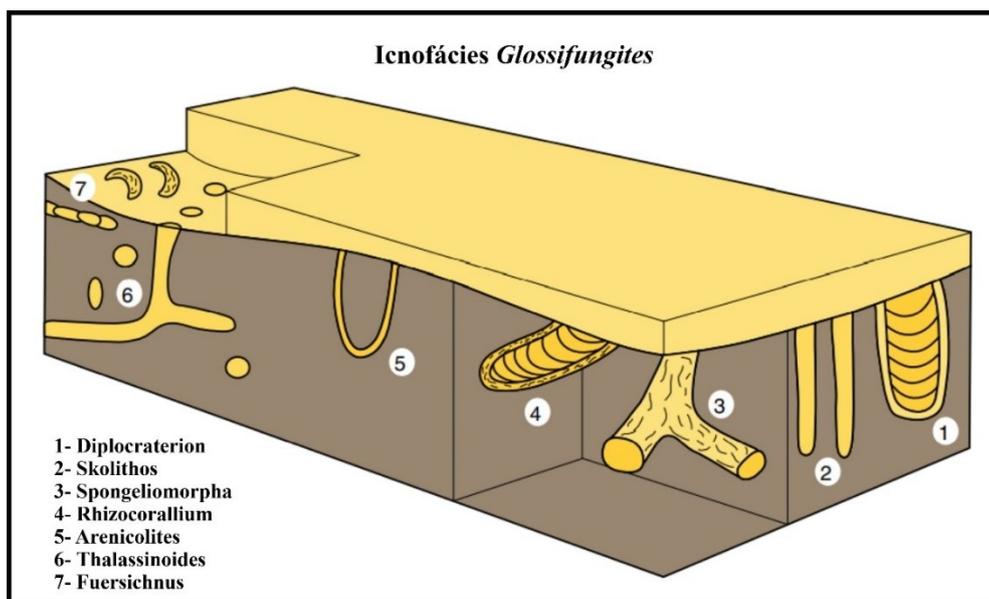
Na icnofácies *Glossifungites* (figura 7), há o predomínio de escavações verticais, subverticais e horizontais, assim como pseudoperfurações, ou uma mistura dessas, sendo principalmente composta por morfologias cilíndricas verticais simples (*Skolithos*), em forma de U (*Diplocraterion*, *Arenicolites*), horizontais simples (*Palaeophycus*), escavações ramificadas (*Spongeliomorpha*, *Thalassinoides*) e perfurações em forma de gota (*Gastrochaenolites*) (BUATOIS *et al.*, 2002). De acordo com Seilacher (1967), esta icnofácies é caracterizada por organismos que interagem com substratos firmes e consolidados, mas não litificados, sendo em sua maioria lamas desidratadas e mais raramente em areias (SEDORKO & FRANCISCHINI, 2021).

As morfologias resultantes da associação de traços indicam proveniência de organismos suspensívoros (e.g. *Conichnus*, *Skolithos*, *Diplocraterion*, *Arenicolites*, *Gastrochaenolites*, *Bergaueria*), depositívoros ou detritívoros (*Thalassionoides*, “*Glossifungites*” e *Psilonichnus*), e carnívoros (e.g. SEILACHER, 1967; PEMBERTON & FREY, 1985; SAVRDA, 1991; BROMLEY & ALLOUE, 1992; BALISTIERI & NETTO, 2002; BUATOIS *et al.*, 2002; ABDEL-FATTAH *et al.*, 2016; BELAÚSTEGUI *et al.*, 2016; SEDORKO *et al.*, 2018, 2022).

O ambiente em que se desenvolve a icnofácies *Glossifungites* se estende desde marinhos litorâneos até marinhos sublitorâneos e, no contexto geral, apresenta uma icnodiversidade baixa, devido a maior dificuldade de se escavar substratos mais firmes, mas a abundância, por sua vez, pode ser alta (BUATOIS & MÁNGANO, 2011). Assim, os organismos produtores e característicos desta icnofácies são artrópodes e moluscos (BROMLEY, 1975, 1996; BUATOIS & MÁNGANO, 2011).

Do ponto de vista estratigráfico, a icnofácies *Glossifungites* pode ser muito relevante na identificação de descontinuidades erosivas, uma vez que pode caracterizar superfícies de omissão marinhas e, por conseguinte, representam superfícies autogênicas em contexto ambiental influenciado por ondas, correntes ou erosão de canais (ABDEL-FATTAH *et al.*, 2016; YANG *et al.*, 2009; PEARSON *et al.*, 2012), e alogênicas, principalmente em limites de sequências formados em plataformas e taludes (MACEACHERN *et al.*, 1992, PEMBERTON & MACEACHERN, 1995; MACEACHERN *et al.*, 1998, MACEACHERN & BURTON, 2000; BUATOIS *et al.*, 2002; GILBERT & ROBLES, 2005; HUBBARD *et al.*, 2012).

Figura 7. Reconstrução esquemática da icnofácies *Glossifungites*.

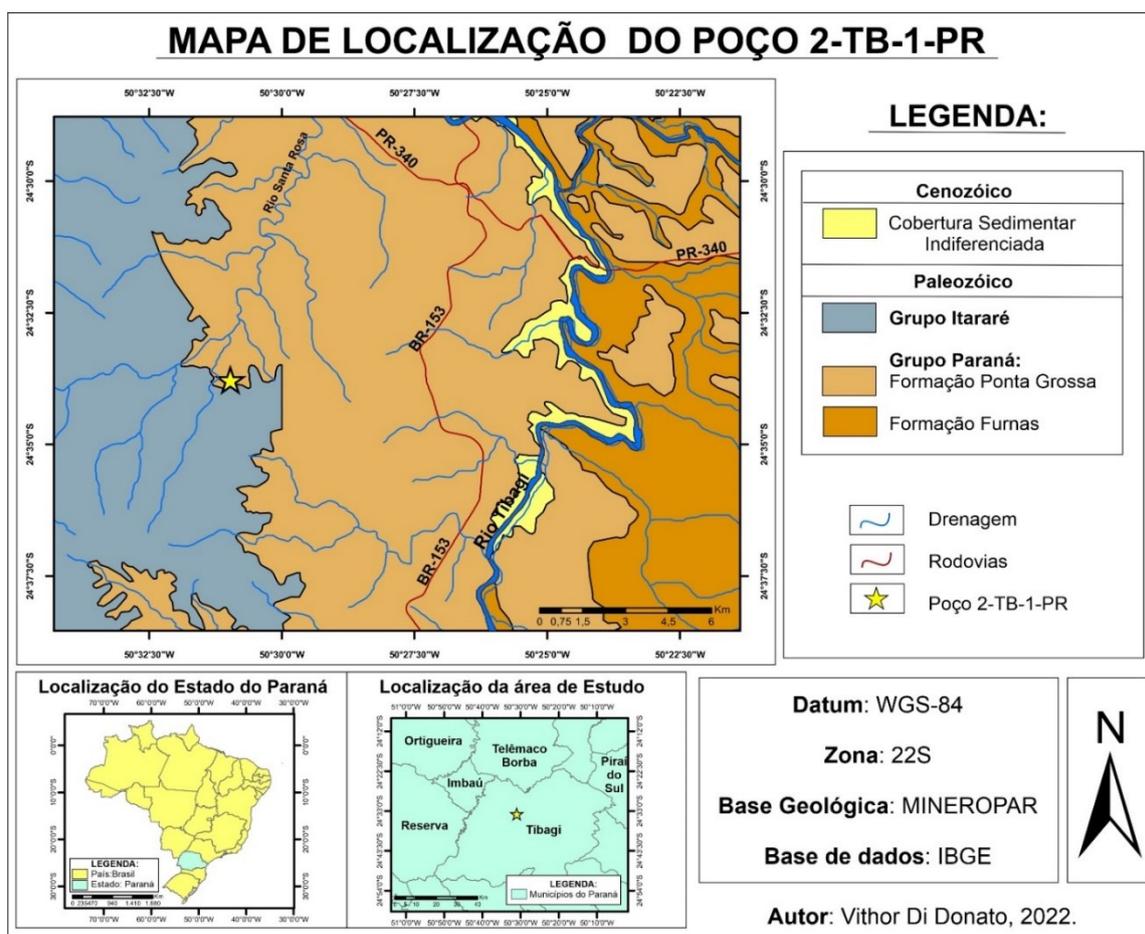


Fonte: Buatois & Mángano (2011).

7. MATERIAIS E MÉTODOS

O testemunho utilizado neste trabalho foi obtido através de uma sondagem rotativa realizada na borda leste da Bacia do Paraná, no município de Tibagi, estado do Paraná (Brasil), nas coordenadas 24° 33' 45.96" S, 50° 30' 58.20" W (datum: WGS 84; Figura 8). A sondagem atingiu 451,60 m de profundidade, com uma recuperação de 94%, e neste estudo foi analisado o intervalo 438,8 m até 345,0 m. Plantz *et al.* (2021) identificaram 5 intervalos litológicos e as unidades litológicas correspondentes, sendo: E (0,00 – 13,00 m), D (13,00 – 208,10 m), C (208,10 – 432,60 m), B (432,60 – 438,80 m) e A (438,80 – 451,60), onde E representa o Grupo Itararé, D e C representam a Formação Ponta Grossa, e A e B representam a Formação Furnas. O presente estudo focou no intervalo correspondente ao Membro Jaguariaíva, localizado entre 432,60 e 345,00 m de profundidade. Este trabalho envolveu a descrição do testemunho, por meio de análise sedimentar e icnológica.

Figura 8. Mapa de localização do poço 2-TB-1-PR.



Fonte: o autor, 2023.

A análise faciológica do testemunho de sondagem 2-TB-1-PR ocorreu com o intuito de representar a relação entre a icnofauna e as litofácies em alta resolução e, por fim, contribuir na identificação e caracterização das fácies sedimentares e icnológicas presentes. A análise de fácies foi realizada a partir do método proposto por Selley (2000), e Walker (1992) e, portanto, baseou-se na descrição e individualização das fácies sedimentares. Os atributos analisados em mesoescala compreenderam litologia, aspectos texturais, estruturas sedimentares primárias e/ou diagenéticas e composição mineralógica.

Tais descrições embasaram a interpretação dos aspectos diagnósticos do tipo de processos envolvidos durante a deposição de cada fácies. Para a nomenclatura, foi adotado o código de identificação de litofácies, sendo os arenitos (S), heterolitos (H), pelitos (M), posteriormente numeradas com cada tipo de fácies sedimentar (1, 2 e 3). A análise icnológica foi baseada em descrições detalhadas, buscando identificar as

principais feições morfológicas, que auxiliaram na identificação icnotaxonômica, assim como na descrição e classificação, segundo a icnofácies e icnofábricas.

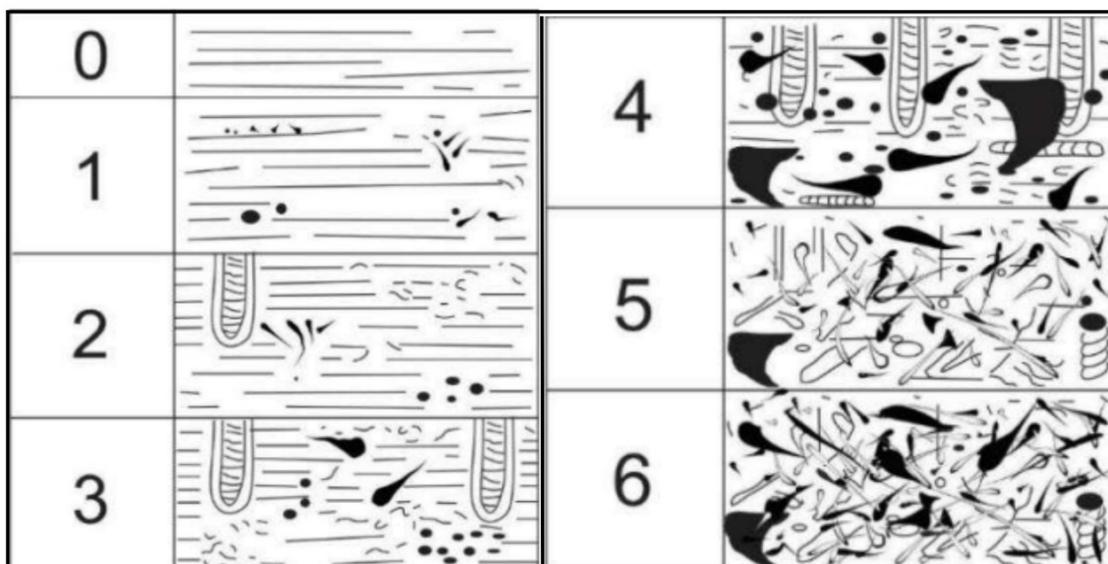
A fim de reconhecer os icnofósseis presentes foi abordada a classificação de icnotaxobases (classificação morfológica) propostas por Bromley (1996). Posteriormente, a partir da metodologia apresentada por Gingras *et al.* (2011), foi analisada a distribuição dos traços fósseis em níveis.

A descrição das icnofábricas ocorre mediante análise e caracterização de alguns atributos como: texturas geradas pela ação da bioturbação, definição da icnodiversidade e seus respectivos icnogêneros, intensidade de bioturbação, padrões de ocorrência, tipos de estruturas biogênicas (bioturbação, bioerosão ou biodeposição), tamanho das escavações e intensidade de ocorrência (EKDALE *et al.*, 2012). Por fim, a análise da associação de icnofósseis permitiu o agrupamento em diferentes icnofácies, as quais foram classificadas segundo Buatois & Mángano (2011).

As análises foram subsidiadas por observações dos icnofósseis em seções transversais e, portanto, a estrutura e disposição das camadas foram de extrema relevância na reconstrução das relações de profundidade das camadas em que estes foram preservados, ou *tiers* (TAYLOR & GOLDRING, 1993). Tal abordagem, permite realizar interpretações acerca do modo e estilo de preservação de icnofósseis, além de outras evidências de bioturbações e bioerosões (EKDALE, BROMLEY e KNAUST, 2012).

Para quantificar a intensidade de bioturbação (figura 9), ou seja, a densidade de icnofósseis por unidade de área, foi utilizado o método semiquantitativo de Reineck (1963). O índice varia entre 0 e 6, onde o 0 representa ausência de bioturbação e 6 representa uma rocha homogeneizada pela atividade biogênica (obliteração completa da trama sedimentar primária).

Figura 9. Índice de Bioturbação.



Fonte: Reineck (1967), adaptado por Sedorko e Francischini (2020).

8. RESULTADOS

8.1. Descrição Sedimentar

Para o intervalo entre ~438,8 m e 345 m do testemunho do poço 2-TB-1-PR, foram identificadas 5 fácies sedimentares (quadro 2), com suas respectivas estruturas e referentes índices de bioturbação. As fácies sedimentares foram categorizadas em fácies arenosa (S1 e S2), fácies heterolítica (H) e fácies pelítica (M1 e M2).

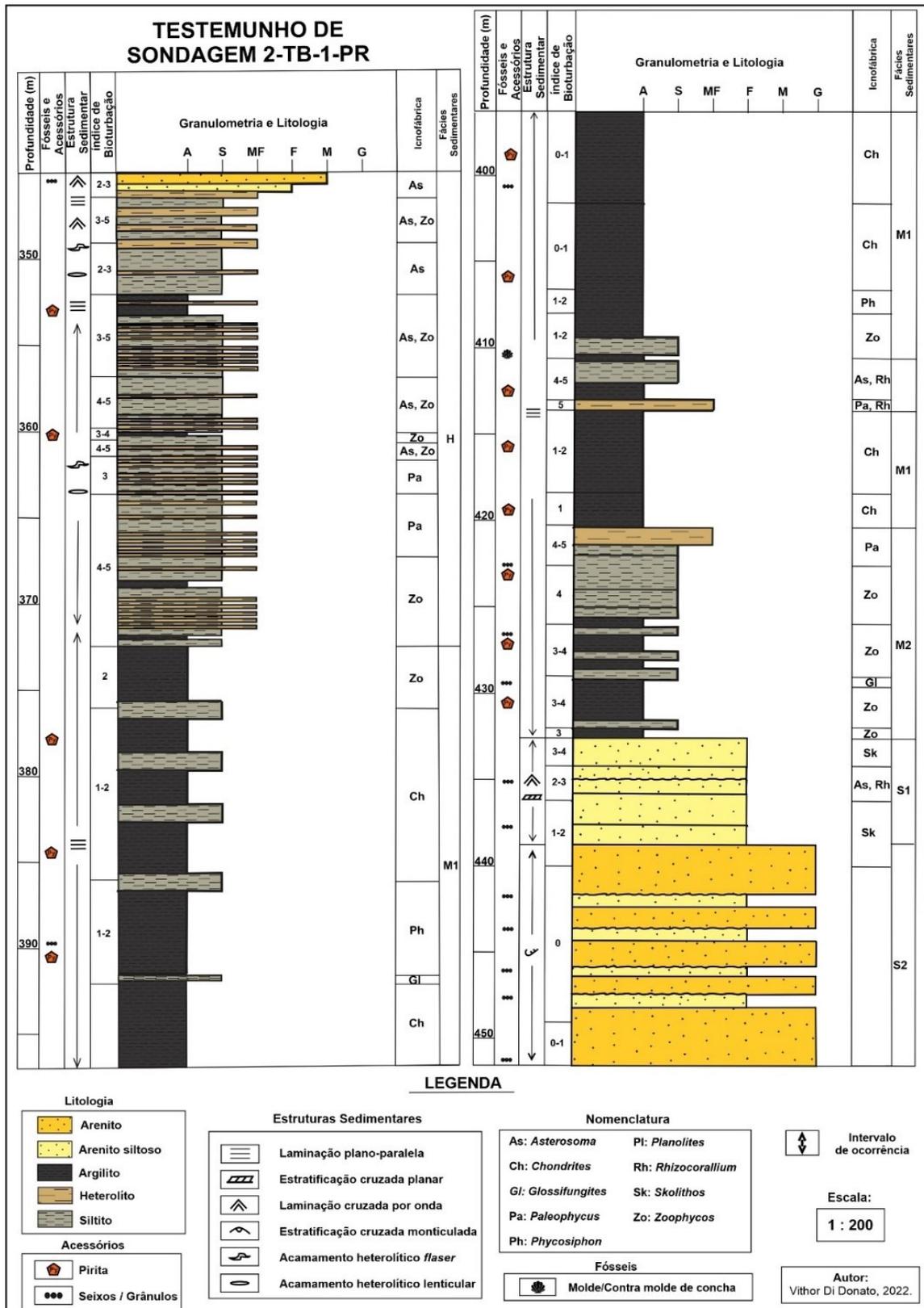
As descrições e análises sedimentares e icnológicas foram utilizadas para confecção da coluna estratigráfica do intervalo entre 451,6 – 345,0 m, referente ao testemunho de sondagem 2-TB-1-PR (figura 10). A fim de melhorar a visualização dos resultados. Optou-se pela divisão da seção, em 5 intervalos, sendo: 1º intervalo (~453 m – 441 m), 2º intervalo (441 m - 432 m), 3º intervalo (432 m – 411 m), 4º intervalo (411 m – 370 m) e 5º intervalo (370 m – 345 m).

Quadro 2. Intervalos evidenciando uma síntese das descrições, estruturas sedimentares, fácies, índice de bioturbação (IB) e icnogêneros.

Fácies Sedimentares	Descrição	Estruturas Sedimentares	IB	Icnofósseis
S1	Arenitos acinzentados a levemente acastanhados, de granulometria fina, bem selecionados, subesféricos e subarredondados, frequentemente intercalados por argilitos escuros, em níveis milimétricos.	Laminação plano paralela, estratificação cruzada por onda e estratificação cruzada monticulada (<i>hummockys</i>)	IB=1-2	<i>Rosselia, Skolithos, Palaeophycus, Asterosoma, Diplocraterion, Schaubcylindrichnus, Rhizocorallium, Cylindrichnus, Arenicolites, Teichichnus</i>
S2	Arenitos esbranquiçados a amarelados, de granulometria que varia de média a grossa, mediamente selecionados, intercalados por níveis de arenitos de granulometria mais fina. Ocorrem frequentemente fraturados, e com a presença de seixos e grânulos.	Estratificação cruzadas planar	IB=0-1	
M1	Argilitos pretos a argilitos silticos de coloração cinza escuro, pontualmente intercalados por siltitos. Ocorre presença de piritização e bioclastos	Laminação plano paralela	IB=2-4	<i>Chondrites, Phycosiphon, Zoophycos, Planolites, Helminthopsis, Rhizocorallium, Glossifungites</i>
M2	Siltitos de coloração cinza claro, com frequente ocorrência de siltitos areníticos e arenitos siltíticos. A siderita ocorre em toda seção, assim como também é frequente a presença de nódulos piritizados.	Laminação plano paralela	IB=2	<i>Zoophycos, Asterosoma, Schaubcylindrichnus, Rhizocorallium, Teichichnus, Chondrites, Thalassinoides, Diplocraterion, Palaeophycus, Planolites, Helminthopsis</i>
H	Heterolitos de coloração predominantemente acinzentada, representados pela intercalação entre argilito / siltito e arenito muito fino.	Acamamento heterolítico lenticular e acamamento heterolítico <i>fláser</i>	IB=3-5	<i>Paleophycus, Zoophycos, Planolites, Schaubcylindrichnus, Helminthopsis, Chondrites, Arenicolites, Rhizocorallium, Asterosoma, Phycosiphon, Teichichnus</i>

Fonte: o autor, 2023.

Figura 10. Seção estratigráfica do intervalo 451,6 - 345 m do testemunho de sondagem 2-TB-1-PR.

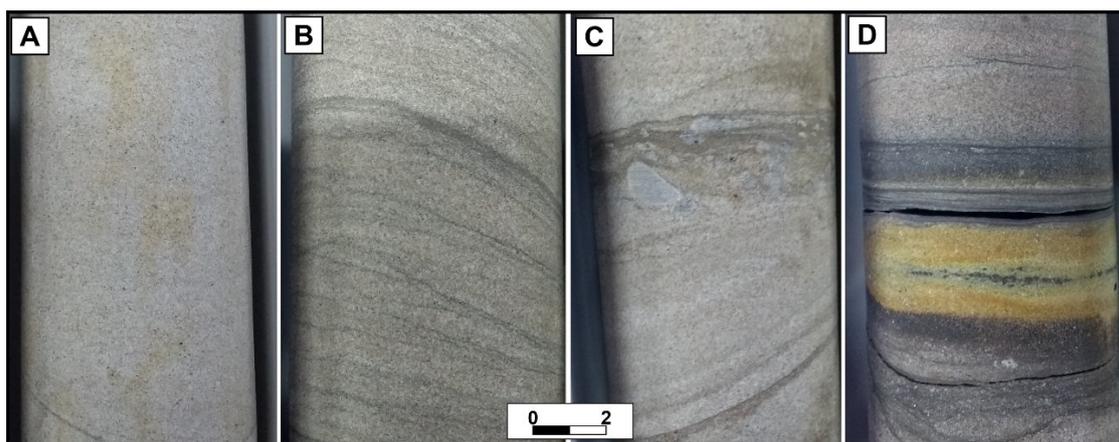


Fonte: o autor, 2023.

8.1.1. 1º Intervalo: ~453 m – 441 m

A porção mais basal do intervalo (figura 10) é composta por arenitos amarelos e de granulometria que variam de média a grossa, classificados como litofácies S2. O grau de seleção é mediano, e frequentemente estes arenitos são intercalados por níveis de arenitos de granulometria mais fina, assim como são comuns intercalações de delgadas camadas de argilitos. Os arenitos apresentam estrutura maciça (figura 11A) e estratificações cruzadas (figura 11B), e laminação cruzada por onda. O índice de bioturbação varia entre 0 e 1, sendo bastante comum a presença de seixos e grânulos (figura 11C), que acompanham frequentemente os contatos erosivos (figura 11D).

Figura 11. A - Arenito maciço. B - Arenito intercalado com delgadas camadas argilosas, com estrutura cruzada planar. C - Arenito com porção centimétrica pavimentada por seixos e grânulos carbonáticos, evidenciando um contato erosivo. D - Contato entre o arenito grosso na porção inferior, com o arenito fino na porção superior, separados por uma camada decimétrica de argilito.



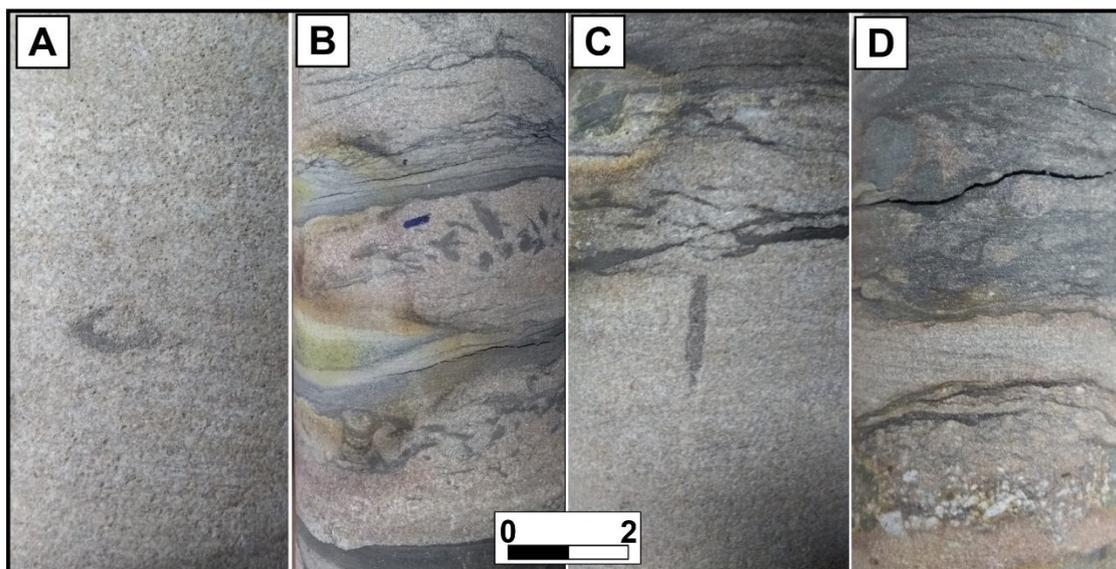
Fonte: o autor, 2023.

8.1.2. 2º Intervalo: 441 m – 432 m

O intervalo 441 – 432 m (figura 10) é caracterizado por arenitos esbranquiçados, bem selecionados, subesféricos e subarredondados, de granulometria fina. Na litofácies S1, há poucas evidências de bioturbação, sendo classificada com IB = 1 e 2. A estrutura destes arenitos varia entre maciça (figura 12A), e estratificações cruzadas por onda. Na litofácies S1 correm frequentes intercalações argilosas e siltosas (figura 12B), assim como níveis pontuais de maior bioturbação. É comum a presença de sutis aumentos

granulométricos, associados a níveis argilosos que entremeiam a estrutura maciça dos arenitos (figura 12C). O limite com o intervalo acima, é evidenciada pela mudança litológica e por seixos e grânulos (figura 12D).

Figura 12. A- Arenito fino maciço, com presença de *Palaeophycus*. B- Arenito intercalado com centimétricas camadas argilosas, com *Chondrites*. C- Nível de argilito na parte superior e arenito maciço na parte inferior contendo *Chondrites*. D- Limite entre o arenito fino, com os pelitos do intervalo acima, marcado pela presença de grânulos e seixos.

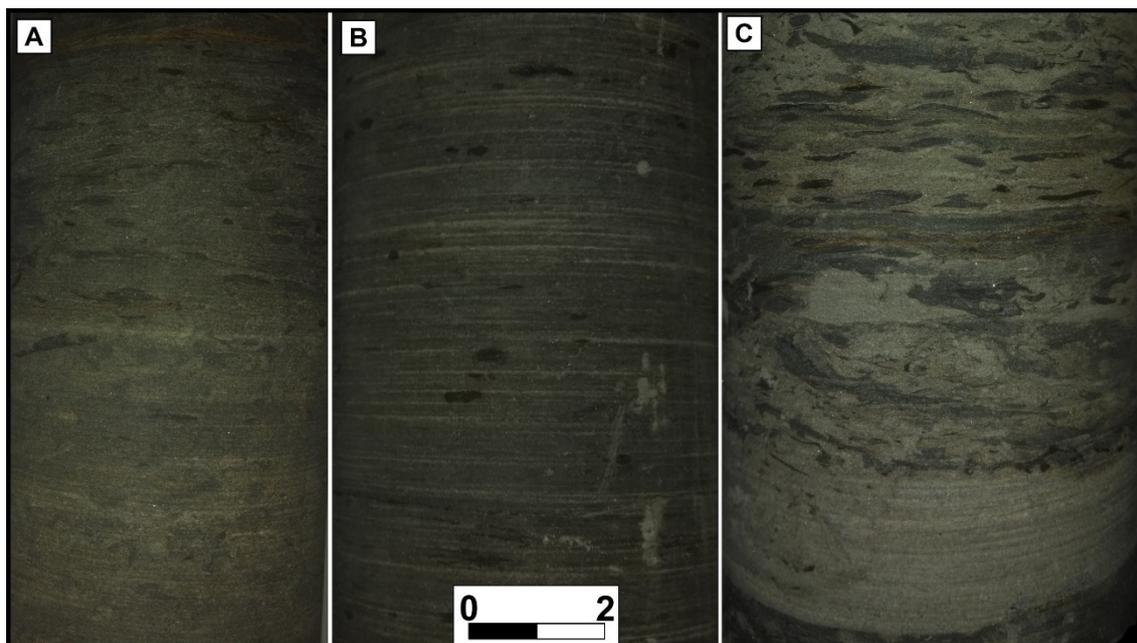


Fonte: o autor, 2023.

8.1.3. 3º Intervalo: 432 m - 411 m

O intervalo 432 – 411 m (figura 10) é marcado por pelitos de coloração cinza claro, frequentemente arenosos (figura 13A), e com laminação plano-paralela (figura 13B). Ao longo deste intervalo, são evidenciadas intercalações de níveis caracterizados por argilitos/siltitos intercalados com arenito, com acamamento heterolítico, pertencentes a fácies H (figura 13C). A litofácies predominante no intervalo é referida sendo M2, e o índice de bioturbação varia comumente entre 2 e 3, mas localmente ocorre um IB = 4. A siderita ocorre em toda seção, assim como também é frequente a presença de nódulos piritizados.

Figura 13. A- Siltito arenoso bioturbado. B- Siltito laminado. C- Heterolito bioturbado.

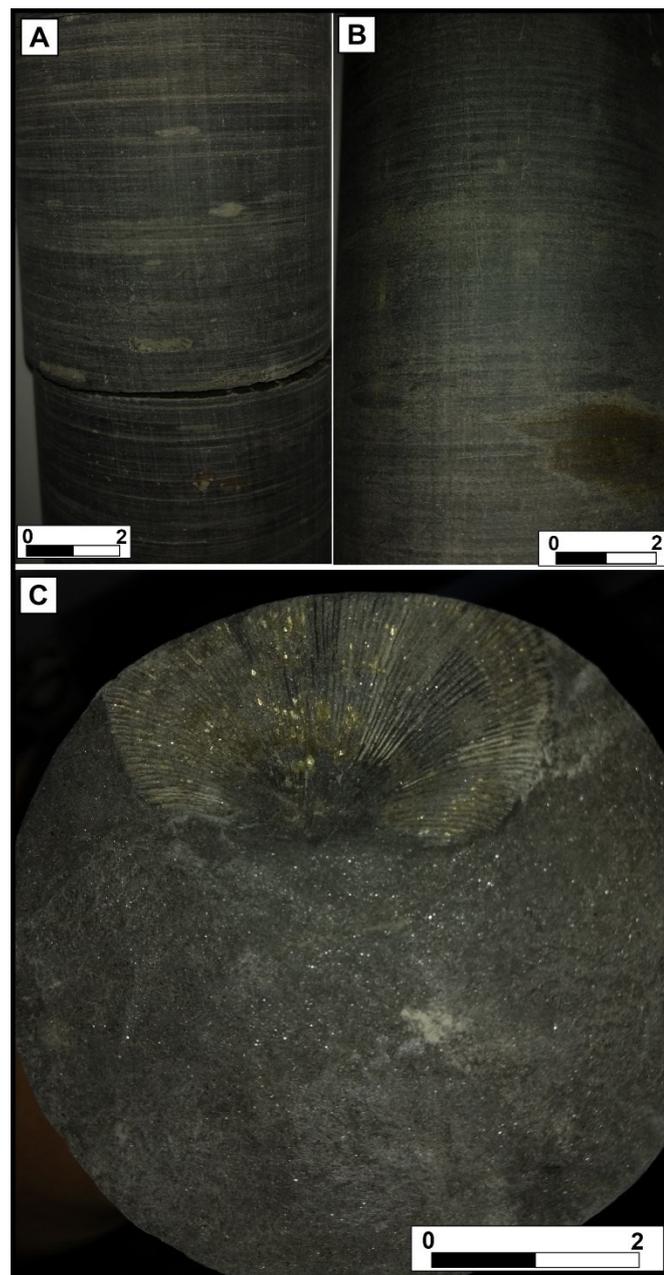


Fonte: o autor, 2023.

8.1.4. 4º Intervalo: 411 m – 370 m

O intervalo 411 – 370 m (figura 10) é composto predominantemente por um pacote homogêneo composto por argilitos escuros (M1), caracterizado por um elevado grau de seleção. Neste intervalo, o Índice de Bioturbação (IB) ficou entre 0 e 2, sendo comum a presença de piritização e bioclastos. A estrutura dos argilitos é predominantemente laminada (figura 14A), sendo bastante frequente a intercalação entre argilitos e delgadas camadas de arenito, com maiores teores de grãos no tamanho de silte e a areia fina (figura 14B), marcando uma laminação plano paralela. Na base ocorrem fósseis de braquiópodes (figura 14C).

Figura 14. A- Argilito laminado. B- Siltito com foliação plano paralela. C- Presença de molde externo de braquiópode piritizado.



Fonte: o autor, 2023.

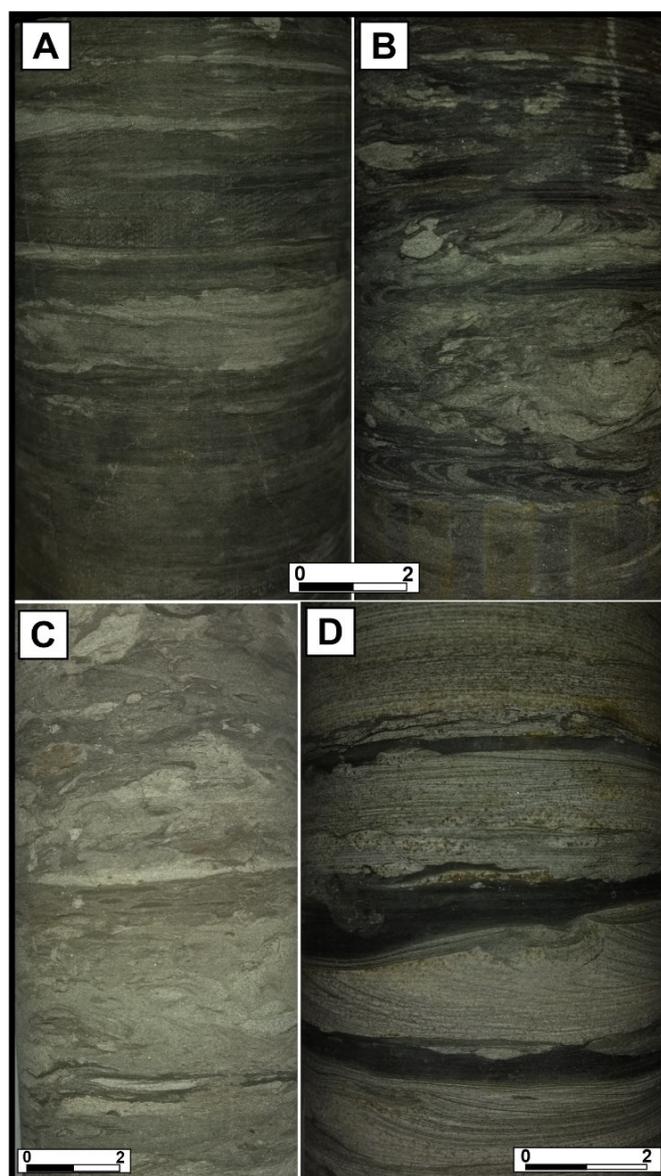
8.1.5. 5º Intervalo: 370 m – 345 m

O intervalo 370 – 345 m (figura 10) é caracterizado por uma grande variação litológica, marcada, principalmente por uma frequente intercalação entre argilito/siltito e arenito fino, com acamamento heterolítico lenticular (figura 15A) e *flaser* (figura 15B). Esses heterolitos, correspondentes a fácies H, são comumente associados a intensa

bioturbação (IB = 4), apresentam, em alguns níveis, intercalações com siltitos arenosos e arenitos sílticos de fácies M2 (figura 15C), assim como a presença de pirita e siderita.

Ao longo do 5º intervalo, é comum a presença de estratificações plano paralelas e laminações cruzadas por onda em direção ao topo. Na porção superior, a partir de 352 m, há predominância de heterolitos e variações de argilitos e siltitos escuros com laminação plano paralela e, uma eventual presença de arenitos mais grossos, com evidência de laminação cruzada por onda e com estratificação cruzada *hummocky* (figura 15D).

Figura 15. A- Rocha com acamamento heterolítico lenticular. B- Rocha com acamamento heterolítico *flaser*, com elevado grau de bioturbação. C- Arenito síltico bioturbado. D- Arenito com estrutura cruzada acanalada e plano paralela, intercalado com níveis de argilito.



Fonte: o autor, 2023

8.2. Icnofábricas

Ao todo foram identificadas 10 icnofábricas, sendo elas: *Skolithos*, *Glossifungites*, *Zoophycos*, *Palaeophycus*, *Chondrites*, *Rhizocorallium* – *Palaeophycus*, *Phycosiphon*, *Asterosoma*, *Asterosoma* – *Zoophycos* e *Asterosoma* – *Rhizocorallium*. As icnofábricas estão tabeladas junto a seus respectivos icnogêneros acessórios, fácies sedimentares e Índice de Bioturbação (IB) no quadro 3.

8.2.1. Icnofábrica *Skolithos*

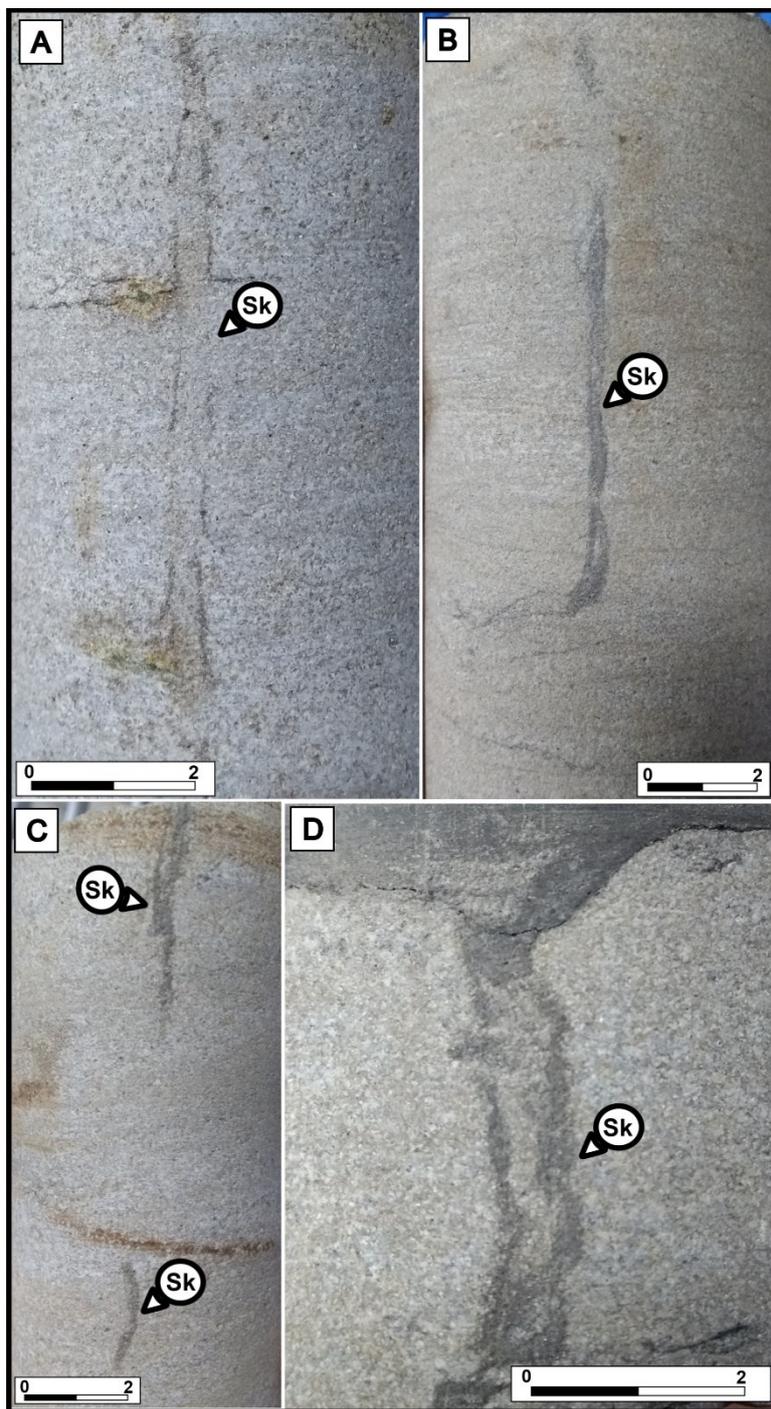
A icnofábrica *Skolithos* (figuras 16A, 16B, 16C) é evidenciada por estruturas verticalizadas a subverticalizadas, simples, com preenchimento passivo e com morfologia cilíndrica. Em sua maioria apresentam lineações (finas paredes) (figura 16D), mas também podem ocorrer sem paredes. Ocorre em tamanhos centimétricos, em cortes longitudinais em substratos majoritariamente arenosos, interpretados como inconsolidados (*softground*) e subaquosos durante a deposição, principalmente, nas fácies S1 e S2. Nesta icnofábrica, os icnogêneros identificados foram principalmente *Skolithos*, *Rosselia*, seguidos por *Palaeophycus*, *Asterosoma*, *Diplocraterion*, *Schaubcylindrichnus*, *Cylindrichnus*, *Teichichnus* e *Arenicolites*. O índice de bioturbação é entre 1 e 2, sendo que, localmente, esta icnofábrica foi observada em fácies arenosa (S1), com o índice de bioturbação entre 2 e 3.

Nota-se ainda uma estrutura bulbosa a cônica e com preenchimento passivo, atribuída ao icnogênero *Rosselia*, e uma estrutura vertical, com *spreiten* em forma de U e preenchimento ativo, atribuída a *Diplocraterion*. O icnogênero *Teichichnus* ocorre com morfologia cilíndrica, com preenchimento passivo e finas paredes. O icnogênero *Arenicolites* é visto somente nesta icnofábrica, e é caracterizado por seu preenchimento passivo, com formato curvilíneo ao fim de sua escavação subvertical.

Quadro 3. Síntese das icnofábricas, com seus respectivos icnogêneros acessórios, fácies sedimentares e índice de bioturbação (IB).

ICNOFÁBRICA	ICNOGÊNEROS ACESSÓRIOS	FÁCIES SEDIMENTARES	IB	INTERVALO DE OCORRÊNCIA
<i>Skolithos</i>	<i>Palaeophycus, Asterosoma, Schaubcylindrichnus, Teichichnus, Arenicolites Diplocraterion, Rosselia</i>	S1 e S2	1 a 2	432,6 – 434,2; 436,2 - 440
<i>Glossifugites</i>	<i>Thalassinoides, Rhizocorallium, Palaeophycus, Diplocraterion</i>	M1	2 a 3	391,9 – 392; 429 - 429,05
<i>Zoophycos</i>	<i>Schaubcylindrichnus, Asterosoma, Rhizocorallium, Teichichnus, Chondrites, Palaeophycus, Planolites, Helminthopsis, Phycosiphon</i>	M1, M2 e H	1 a 2	360 – 360,6; 367,2 – 376; 408 – 410,6; 429 – 429,05 - 432,6;
<i>Palaeophycus</i>	<i>Zoophycos, Planolites, Schaubcylindrichnus, Helminthopsis, Chondrites, Arenicolites, Rhizocorallium, Asterosoma, Phycosiphon</i>	M2 e H	3 a 5	361,6 – 367,2
<i>Chondrites</i>	<i>Planolites, Rhizocorallium, Helminthopsis, Zoophycos, Asterosoma, Palaeophycus, Phycosiphon</i>	M1 e M2	0 a 2	376 – 386; 392 – 406,6; 413,6 – 420,4
<i>Rhizocorallium - Palaeophycus</i>	<i>Planolites, Schaubcylindrichnus, Helminthopsis, Chondrites, Zoophycos, Asterosoma, Phycosiphon</i>	H	5	413 – 413,6
<i>Phycosiphon</i>	<i>Chondrites, Zoophycos, Helminthopsis, Planolites</i>	M1	1 a 2	386 – 391,9; 406,5 - 408
<i>Asterosoma</i>	<i>Palaeophycus, Chondrites, Schaubcylindrichnus, Rhizocorallium, Planolites, Teichichnus, Cruziana, Skolithos, Zoophycos</i>	S1 e H	2 a 3	345 – 346,6; 349 - 352
<i>Asterosoma - Zoophycos</i>	<i>Teichichnus, Palaeophycus, Chondrites, Schaubcylindrichnus, Rhizocorallium, Planolites, Phycosiphon, Helminthopsis</i>	M2, H e S1	3 a 5	345 – 349; 352 – 360; 360,6 – 361,6
<i>Asterosoma - Rhizocorallium</i>	<i>Arenicolites, Asterosoma, Bifungites, Chondrites, Cylindrichnus, Diplocraterion, Helminthopsis, Lingulichnus, Lockeia, Planolites, Rosselia, Schaubcylindrichnus, Skolithos, Teichichnus, Thalassinoides</i>	M1, M2 e S1	3 a 5	410,6 – 413; 436,2 – 434,2

Figura 16. A- *Skolithos* em arenito mais grosso. B- *Skolithos* em arenito fino, com paredes bem lineadas. C- Presença de dois *Skolithos*, logo abaixo de uma superfície erosiva. D- *Skolithos* em arenito fino.

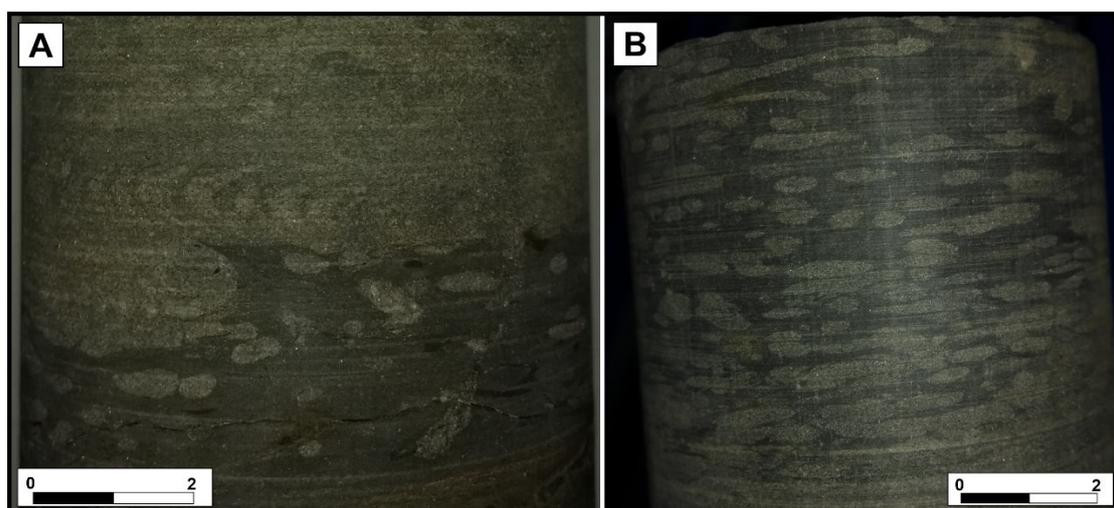


Fonte: o autor, 2023.

8.2.2. Icnofábrica *Glossifungites*

A icnofábrica *Glossifungites* (figuras 17A e 17B) é evidenciada em dois diferentes níveis, ocorrendo em intervalos de poucos centímetros (429,05 – 429,0; 392,0 – 391,9), em substratos firmes (*firmground*) e não consolidados, em argilitos laminados (fácies M1). As escavações são predominantemente simples e compostas por estruturas orientadas preferencialmente na horizontal, caracterizadas por limites irregulares e preenchimento passivo. Nesta icnofábrica, os icnogêneros identificados foram *Diplocraterion*, *Rhizocorallium*, *Palaeophycus* e *Thalassinoides*. O índice de bioturbação é entre 2-3.

Figura 17. A- Icnofábrica *Glossifungites*, na profundidade 429 m. B- Icnofábrica *Glossifungites*, em profundidade 392 m.

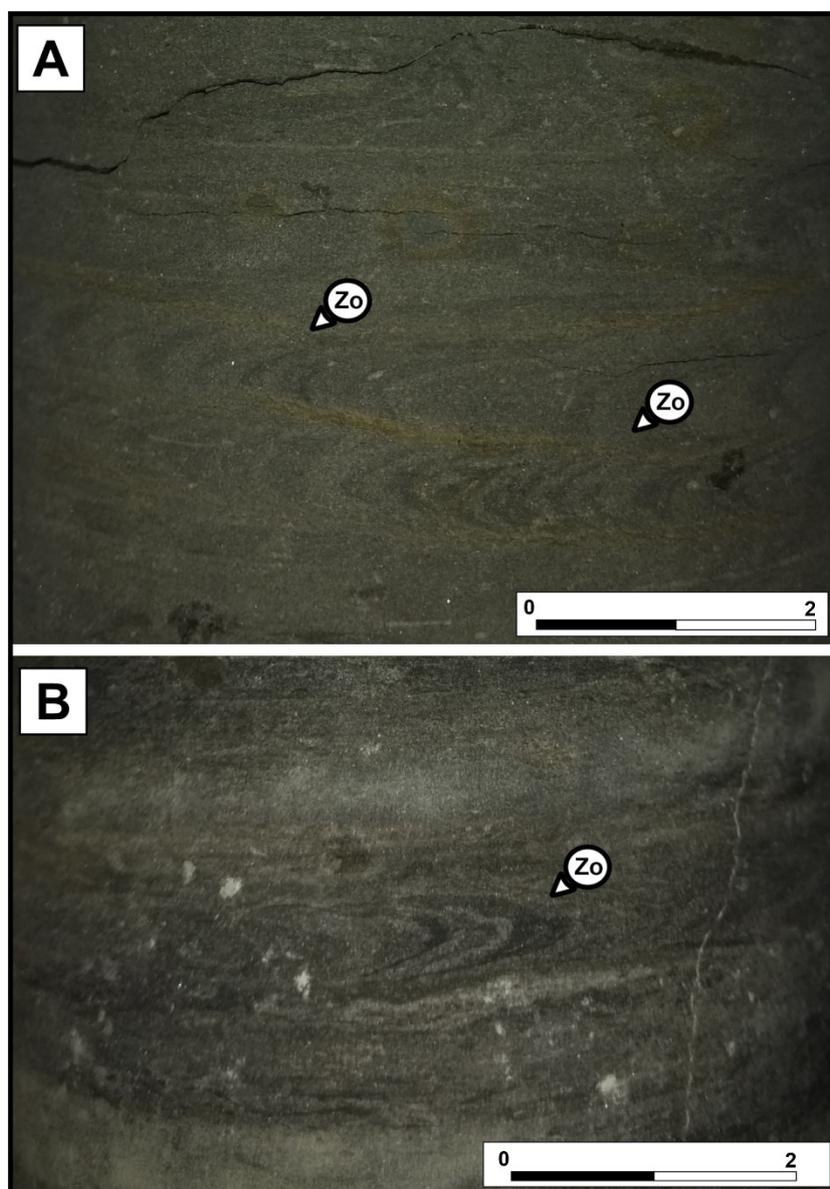


Fonte: o autor, 2023.

8.2.3. Icnofábrica *Zoophycos*

A icnofábrica *Zoophycos* (figuras 18A e 18B) apresenta estruturas com preenchimento ativo, horizontalizadas e com presença de turbos marginais ao longo do *spreiten*. Nesta icnofábrica, os icnogêneros identificados foram *Zoophycos*, *Schaubcylindrichnus*, *Asterosoma*, *Rhizocorallium*, *Teichichnus*, *Chondrites*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Phycosiphon* e *Helminthopsis*, sendo encontrados em fácies pelíticas (M1, M2) e heterolíticas (H). Nesta icnofábrica, o índice de bioturbação foi entre 3 e 4, sendo pontualmente registradas bioturbações entre 1 e 2.

Figura 18. A- Siltito arenoso, sendo bioturbado por *Zoophycos*. B- *Zoophycos* em argilito laminado.



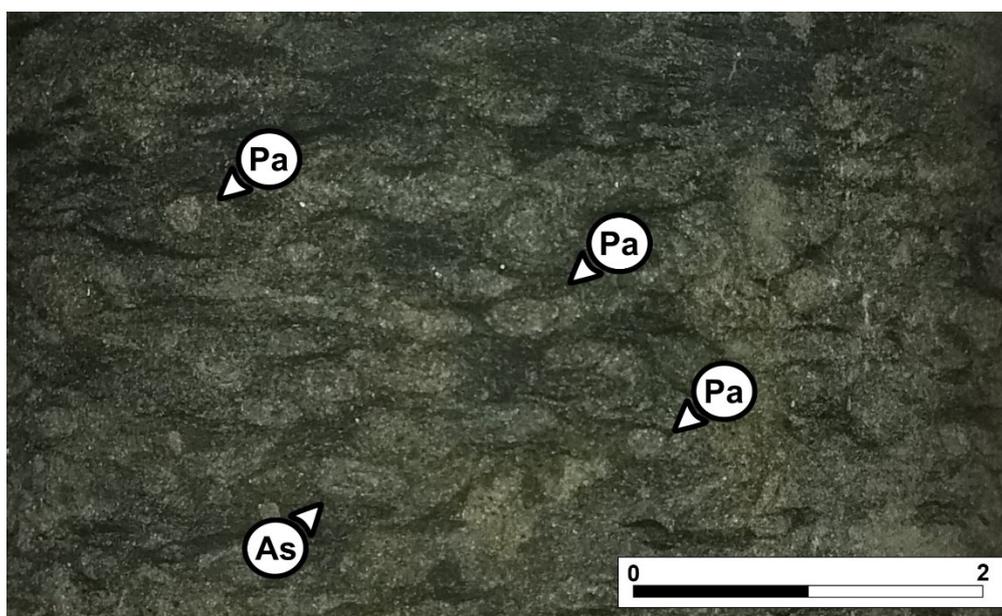
Fonte: o autor, 2023.

8.2.4. Icnofábrica *Palaeophycus*

A icnofábrica *Palaeophycus* apresenta estruturas simples, horizontalizadas a subhorizontalizadas, cilíndricas, com paredes lisas e preenchimento passivo. Ocorre predominantemente em cortes transversais, sem ramificações, e com menos de 1 cm de diâmetro. Nesta icnofábrica, os icnogêneros identificados foram *Palaeophycus* (figura 19), *Planolites*, *Schaubcylindrichnus*, *Helminthopsis*, *Chondrites*, *Arenicolites*,

Rhizocorallium, *Zoophycos*, *Phycosiphon* e *Asterosoma*, e comumente é acompanhada de uma alta icnodiversidade, sendo evidenciada em fácies pelítica (M2) e heterolítica (H). Nesta icnofábrica, o índice de bioturbação é entre 4 e 5, sendo registrada pontualmente bioturbação com índice 3.

Figura 19. A- Icnofábrica *Palaeophycus*, com *Asterosoma*.

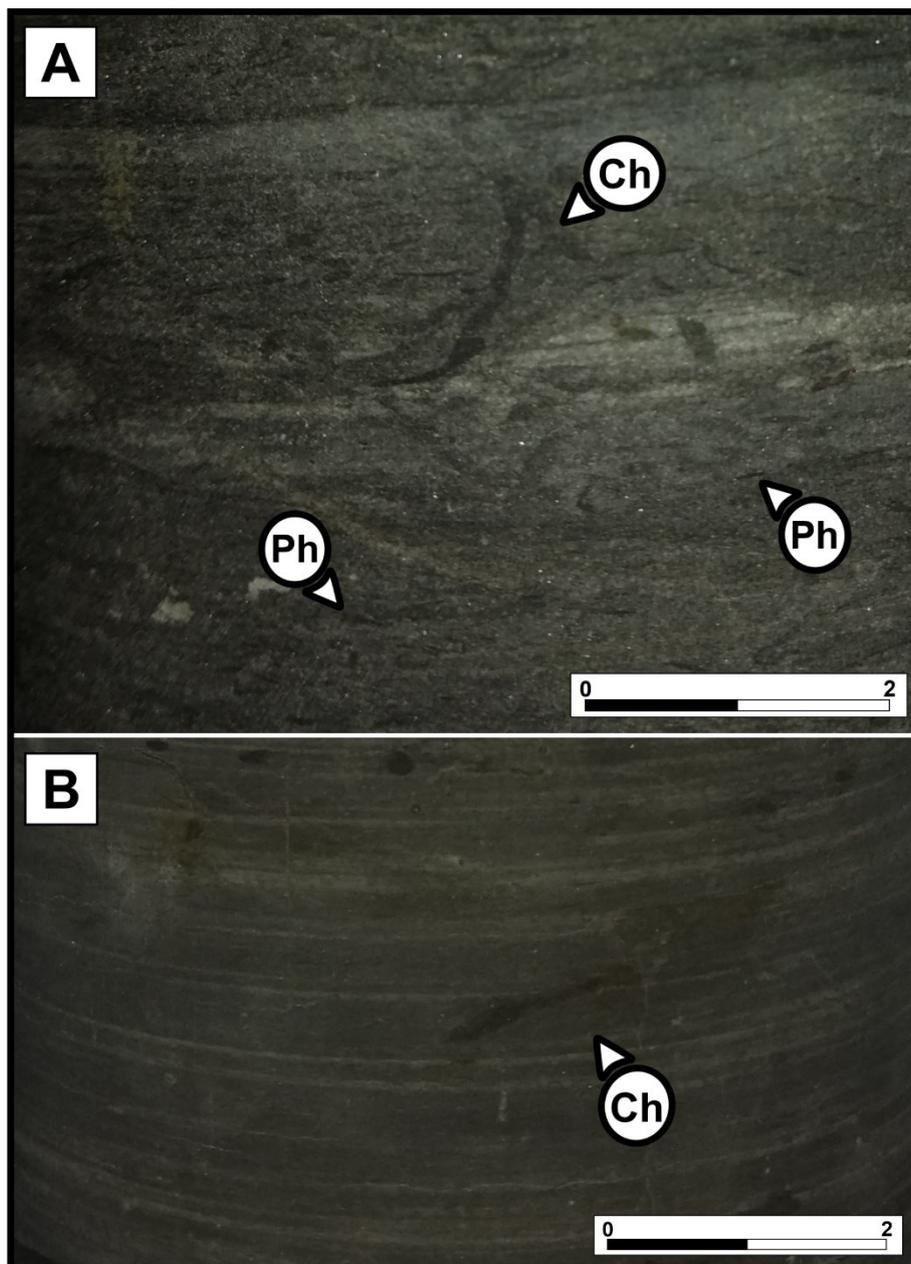


Fonte: o autor, 2023.

8.2.5. Icnofábrica *Chondrites*

A icnofábrica *Chondrites* (figura 20A e 20B) ocorre sob a forma de estruturas majoritariamente ramificadas, evidenciada por bifurcações e com preenchimento ativo, de escala milimétrica. Esta icnofábrica é frequentemente associada as fácies M1, na qual, os icnogêneros identificados foram *Chondrites*, *Planolites*, *Rhizocorallium*, *Helminthopsis*, *Zoophycos*, *Asterosoma*, *Phycosiphon* e *Palaeophycus*, sendo bastante comum a associação dos icnogêneros acessórios *Zoophycos* e *Phycosiphon*. Nesta icnofábrica, o índice de bioturbação foi entre 0 e 2.

Figura 20. A- *Chondrites* associados a *Phycosiphon*. B- *Chondrites* em argilito laminado.



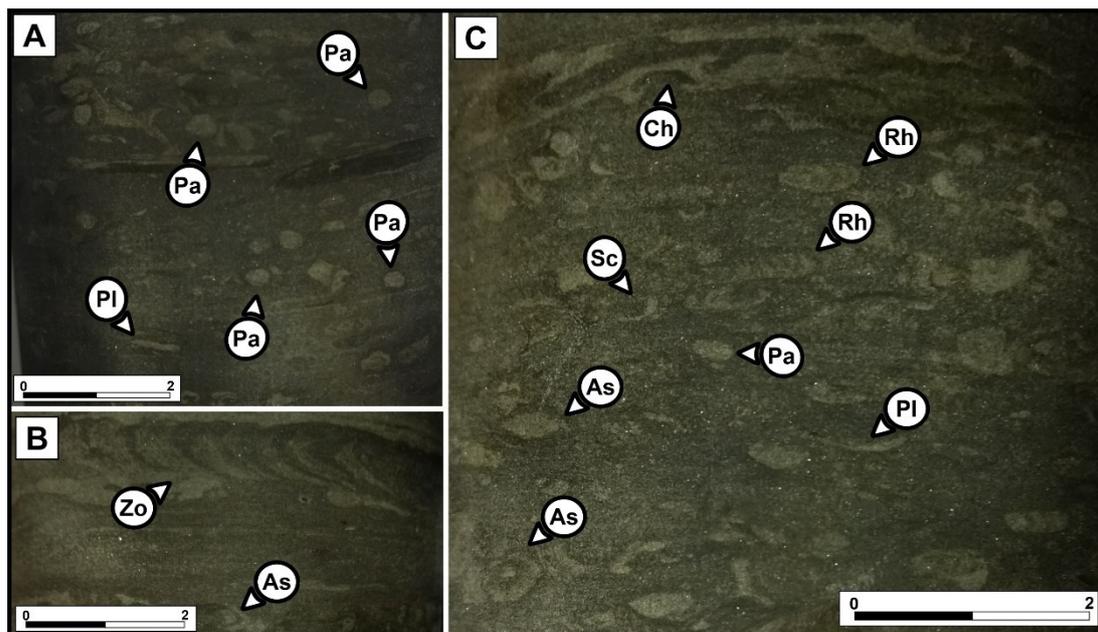
Fonte: o autor, 2023.

8.2.6. Icnofábrica *Rhizocorallium* – *Palaeophycus*

A icnofábrica *Rhizocorallium* – *Palaeophycus* (figuras 21A, 21B e 21C) é marcada pela ocorrência de icnofósseis predominantemente orientados de maneira sub-horizontal a horizontal, sendo em sua maioria, caracterizados por preenchimentos de granulometria maior que o entorno, em fácies preferencialmente siltosas, com alta icnodiversidade e bioturbação. Na icnofábrica *Rhizocorallium* – *Palaeophycus*, os

icnogêneros identificados foram *Zoophycos*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Schaubcylindrichnus*, *Helminthopsis*, *Chondrites*, *Rhizocorallium*, *Thalassinoides*, *Asterosoma* e *Phycosiphon*. Nesta icnofábrica, o índice de bioturbação é de 3 a 5.

Figura 21. A- *Palaeophycus* em argilito. B- *Zoophycos* e *Asterosoma* associados na icnofábrica *Rhizocorallium-Palaeophycus*. C- Icnodiversidade e moderada a alta bioturbação em siltito arenoso, contendo *Rhizocorallium*, *Chondrites*, *Asterosoma*, *Planolites* e *Schaubcylindrichnus*.

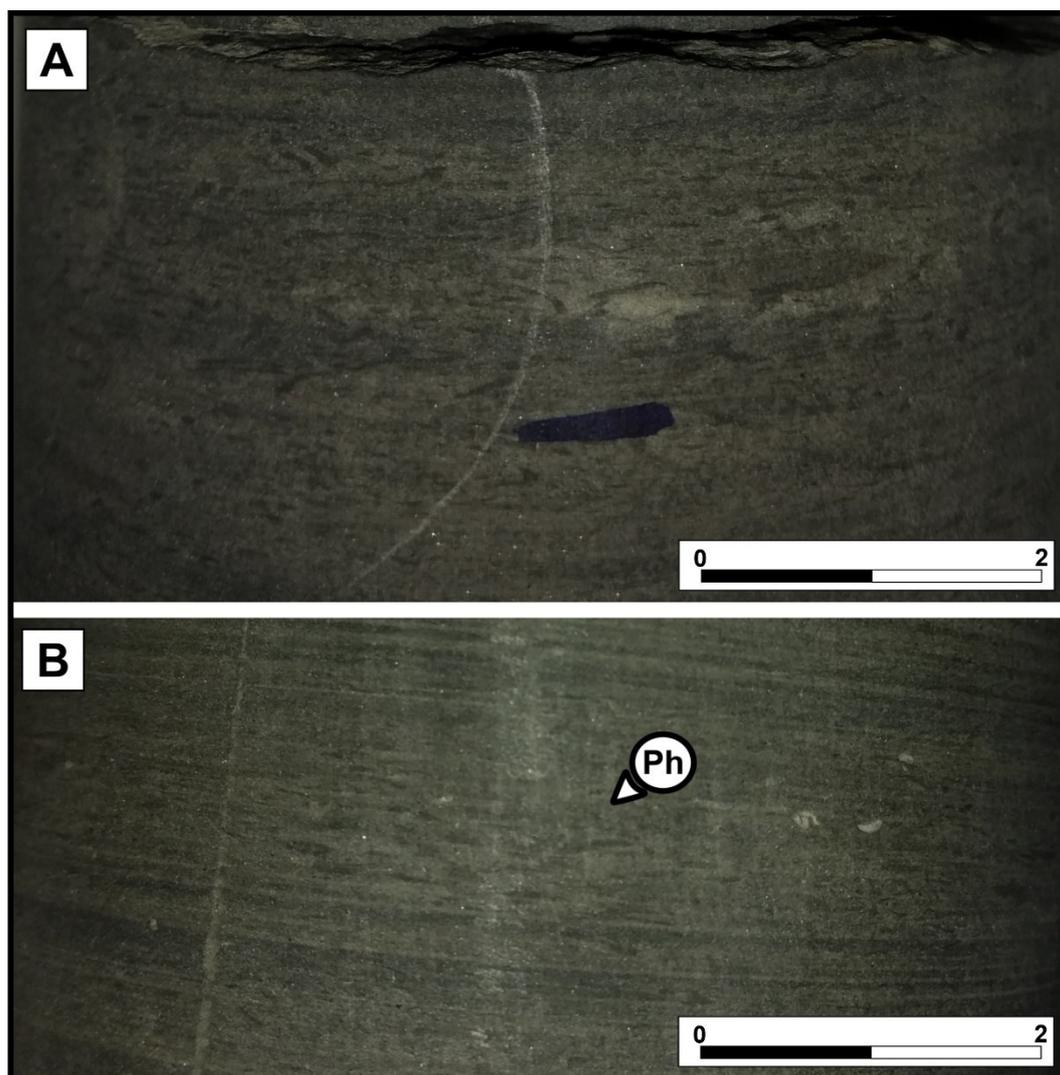


Fonte: o autor, 2023.

8.2.7. Icnofábrica *Phycosiphon*

A icnofábrica *Phycosiphon* (figura 22A e 22B) é caracterizada por escavações em formato cilíndrico a lenticular, de morfologia lobada, dispostos de maneira subhorizontal, com preenchimento ativo, sem ramificações e com pequenos *spreiten*, frequentes em tamanhos milimétricos. Nesta icnofábrica, os icnogêneros identificados foram principalmente *Phycosiphon*, seguidos por *Chondrites*, *Zoophycos*, *Helminthopsis* e *Planolites*, sendo os icnogêneros *Chondrites* encontrados associados, principalmente em contextos de deposição de argilitos laminados (M1). Nesta icnofábrica, o índice de bioturbação varia entre 1 e 2.

Figura 22. A- *Phycosiphon*, evidenciado pelas estruturas mais escuras em padrão mosqueado. B- Nível de *Phycosiphon* em padrão mosqueado, em argilito.



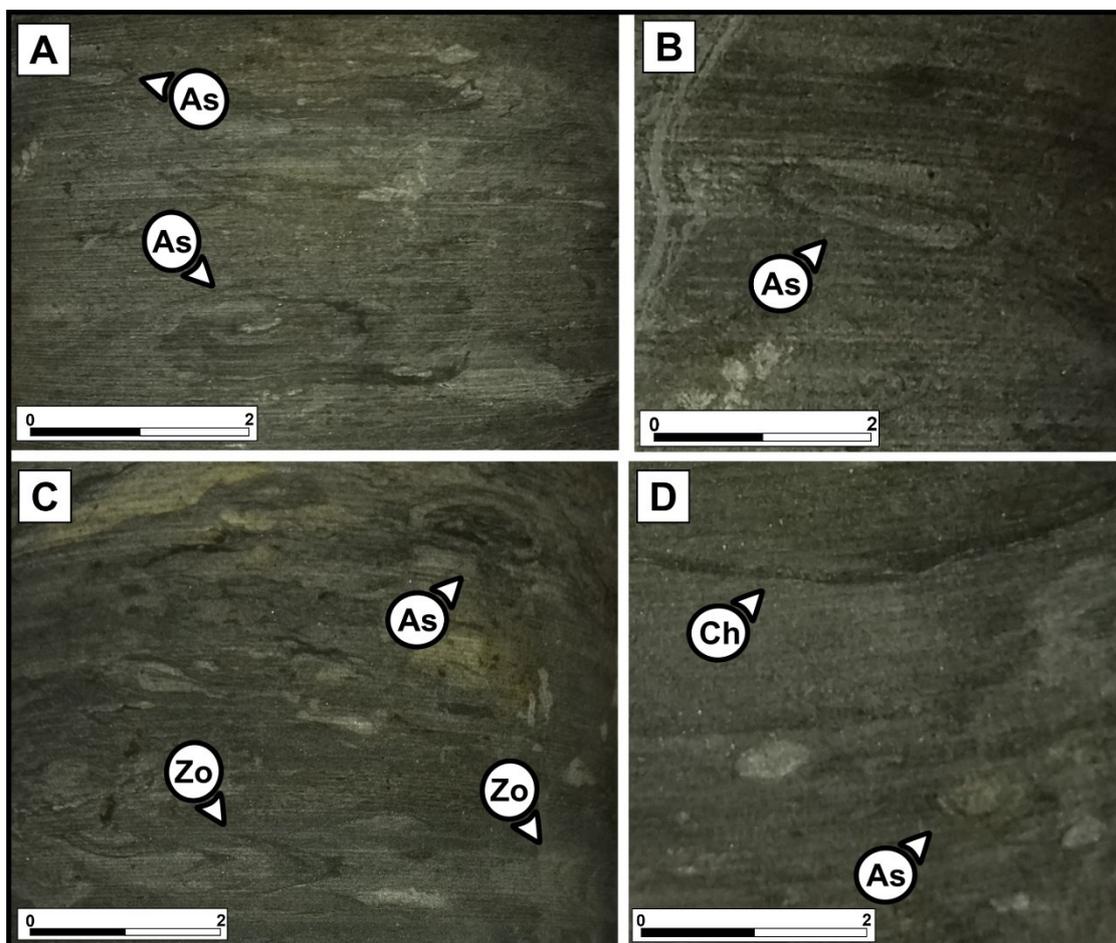
Fonte: o autor, 2023.

8.2.8. Icnofábrica *Asterosoma*

A icnofábrica *Asterosoma* (figuras 23A, 23B, 23C e 23D) ocorre com escavações em formato cilíndrico, em corte transversal da seção (radial), com preenchimento passivo e morfologia bulbosa, com escalas frequentemente centimétricas. Aparece em diversas porções do intervalo analisado, e em diferentes tamanhos, sendo encontrada em fácies arenosa (S1) e heterolítica (H). Nesta icnofábrica, os icnogêneros identificados foram *Asterosoma*, *Zoophycos*, *Schaubcylindrichnus*, *Palaeophycus*, *Phycosiphon*, *Teichichnus*, *Skolithos*, *Planolites*, *Cruziana* e *Rhizocorallium*, sendo mais comum como acessórios, os icnogêneros *Palaeophycus* e *Zoophycos*. O índice de bioturbação é entre 2

e 3. Ocorre com bastante frequência o icnogênero *Teichichnus*, evidenciado por estruturas com *spreiten*, preenchimento ativo e paredes lisas.

Figura 23. A- *Asterosoma* em siltito arenoso. B- *Asterosoma* em corte transversal, em siltito laminado. C- *Zoophycos* associados a *Asterosoma*. D- *Chondrites* associados a *Asterosoma*.

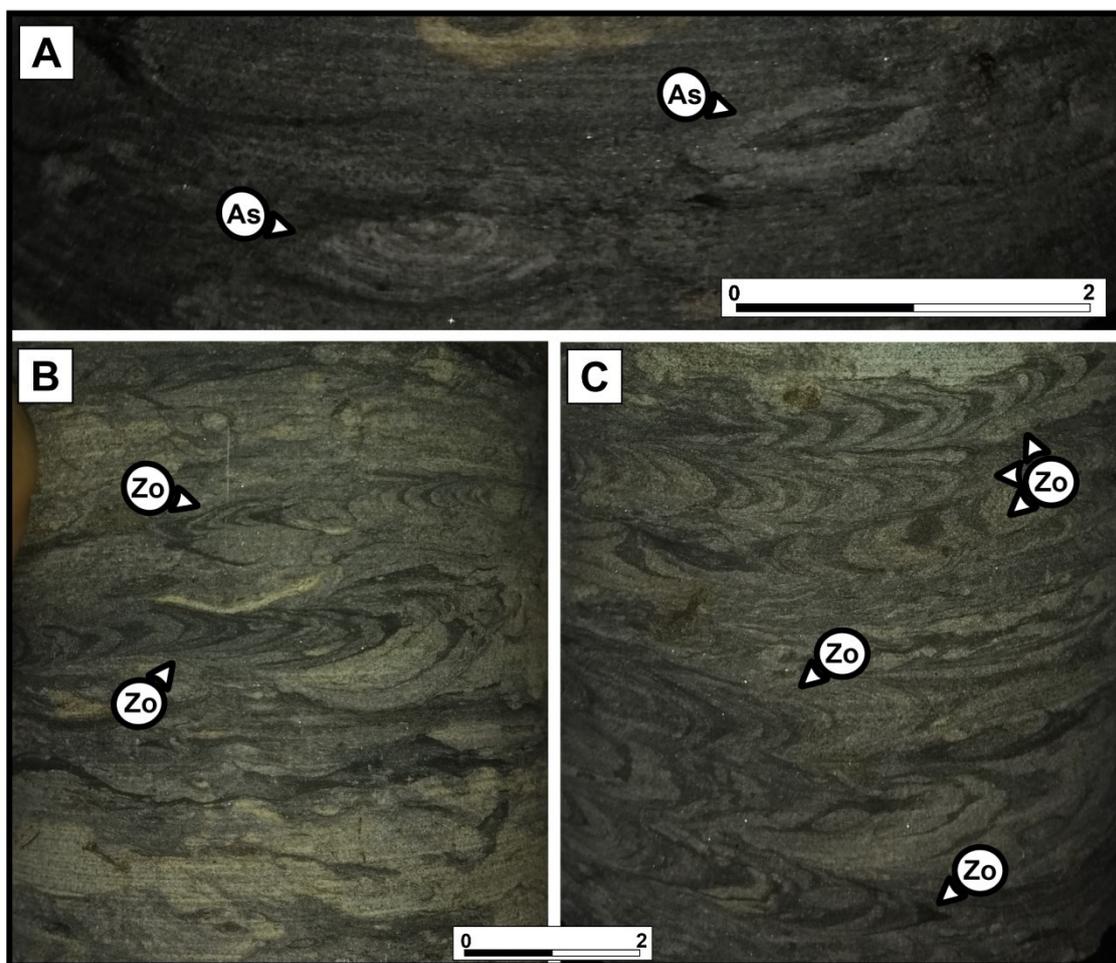


Fonte: o autor, 2023.

8.2.9. Icnofábrica *Asterosoma* – *Zoophycos*

A icnofábrica *Asterosoma* – *Zoophycos* (figuras 24A, 24B e 24C) ocorre ao longo do testemunho nas fácies silticas (M2), heterolíticas (H) e areníticas (S1). Nesta icnofábrica, os icnogêneros identificados foram *Zoophycos*, *Asterosoma*, *Paleophycos*, *Planolites*, *Chondrites*, *Phycosiphon*, *Schaubcylindrichnus* e *Helminthopsis*, indicando uma elevada icnodiversidade. Nesta icnofábrica, o índice de bioturbação é entre 3 e 5.

Figura 24. A- *Asterosoma* em dois diferentes cortes. B- *Zoophycos* em fácies heterolíticas. C- Elevado índice de bioturbação, promovido pelo icnogênero *Zoophycos*.

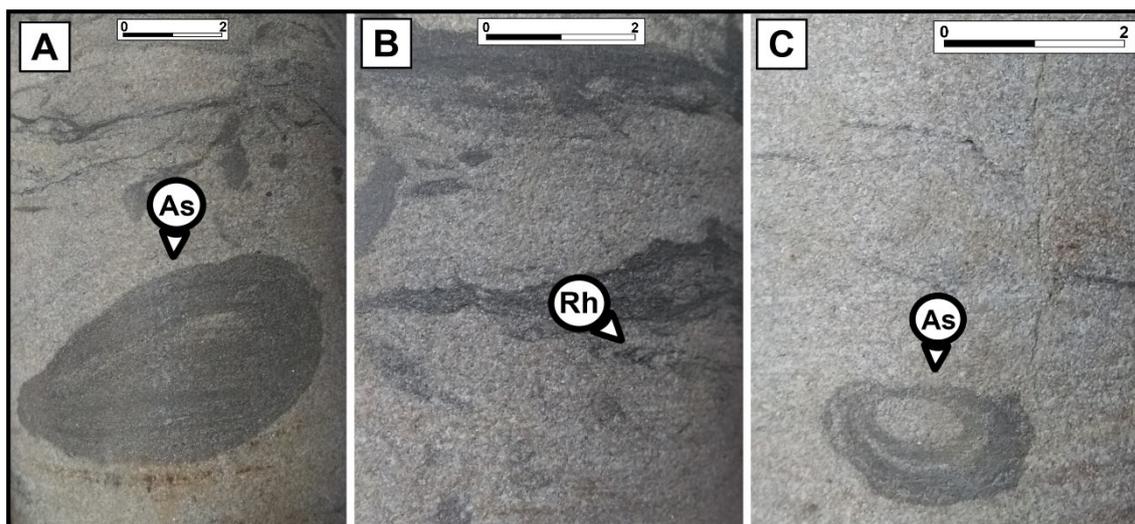


Fonte: o autor, 2023.

8.2.10. Icnofábrica *Asterosoma* – *Rhizocorallium*

Na icnofábrica *Asterosoma* – *Rhizocorallium* (figuras 25A, 25B e 25C), *Asterosoma* ocorre com os maiores tamanhos ao longo do intervalo estudado. Em sua maioria, a icnofábrica é dominada por escavações com preenchimento passivo, sendo as estruturas bulbosas, caracterizadas pela *Asterosoma*, e as simples e horizontais, caracterizadas por *Palaeophycus*. Os icnogêneros identificados foram *Paleophycos*, *Asterosoma*, *Planolites*, *Schaubcylindrichnus*, *Teichichnus*, *Chondrites*, *Rhizocorallium* e *Zoophycos*, com o índice de bioturbação entre 4 e 5. No entanto, também foi registrado índice de bioturbação entre 2 e 3. As litologias afetadas pela icnofábrica *Asterosoma* - *Rhizocorallium* foram arenitos (fácies S1), argilitos (fácies M1) e siltitos (fácies M2).

Figura 25. A- *Asterosoma* em arenito fino. B- *Rhizocorallium*, em arenito intercalado com argilito. C- *Asterosoma* em arenito fino, apresentando estrutura bulbosa.



Fonte: o autor, 2023.

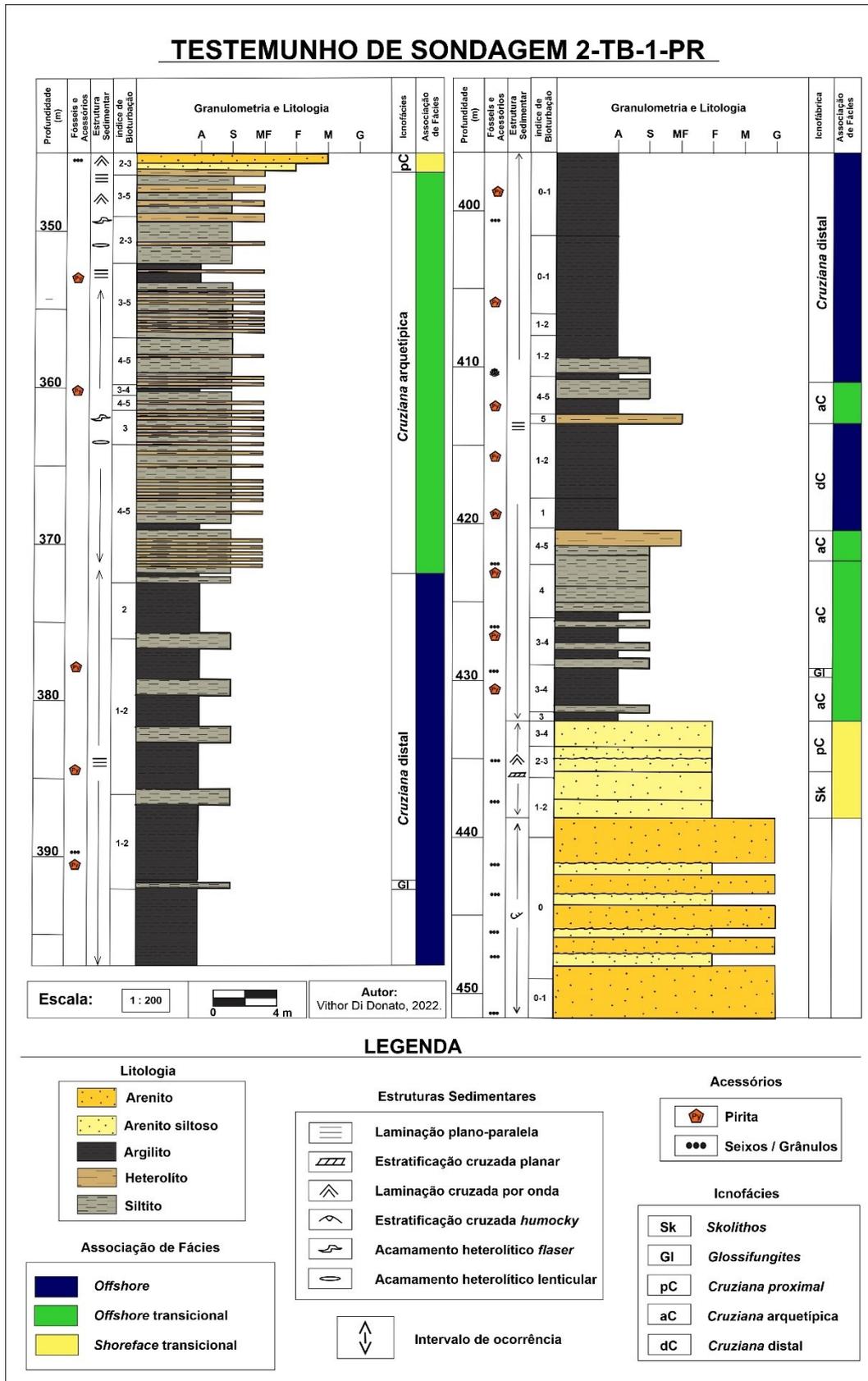
9. DISCUSSÃO

O intervalo estudado do testemunho de sondagem 2-TB-1-PR, abrange o topo da Formação Furnas e a base da Formação Ponta Grossa. O topo da Formação Furnas é representado pelo intervalo (448,8 – ~451,6 m), e o intervalo (345,0 - 438,8 m), é referente a base da Formação Ponta Grossa, sendo corresponde ao Membro Jaguariaíva.

Este estudo considera apenas o intervalo C de Plantz *et al.* (2021), mas o topo da Formação Furnas (intervalo B de Plantz *et al.*, 2021) foi aqui considerado por possuir icnofósseis (438,8 a 432,6 m). Portanto, a sucessão paleoambiental é discutida da base para o topo, tendo sido dividida em 3 associações de fácies, *shoreface*, *offshore* transicional e *offshore*.

As observações e interpretações obtidas ao longo da discussão, foram sintetizadas e ilustradas na coluna estratigráfica (figura 26) do intervalo (345,0 - 438,8) referente ao testemunho de sondagem 2-TB-1-PR.

Figura 26. Testemunho de sondagem do poço 2-TB-1-PR interpretado, com associação de fácies e icnofácies.



Fonte: o autor, 2023.

9.1. *Shoreface* transicional (FA-3): 438,8 - 432,6 m

Na figura 26, a base do testemunho, o intervalo (438,8 - 432,6 m) é caracterizado por arenitos finos, da fácies S1, intercalados com delgadas camadas de siltitos e frequentes laminações cruzadas por onda, sugerindo, portanto, um contexto deposicional de média a alta energia. Esta interpretação é corroborada pela presença majoritária de estruturas verticalizadas, assim como estruturas horizontalizadas, produzidas por organismos suspensívoros, carnívoros e detritívoros rasos, pertencentes às icnofábricas *Skolithos*, *Rhizocorallium-Palaeophycus* e *Palaeophycus*.

A icnofábrica *Skolithos* foi interpretada como pertencente a icnofácies *Skolithos*, devido ao baixo índice de bioturbação (1-3), ausência de estruturas ramificadas, assim como predomínio de morfologias cilíndricas e simples, produzidas por organismos suspensívoros e predadores passivos (KNAUST, 2017). A presença comum de paredes delimitadas nas estruturas indica substrato inconsolidado (*softground*) e subaquosos, depositado em condições de maiores energias hidrodinâmicas, o que torna o cenário ideal para os organismos suspensívoros, uma vez que o alimento está em suspensão, há maior oxigenação do meio e menor chance de sufocamento por lama, depositada comumente em contexto de baixa energia (BUATOIS & MÁNGANO, 2011).

Segundo Sedorko, Netto e Savrda (2018), a icnofácies *Skolithos*, é comum na Formação Ponta Grossa, sendo marcada por uma suíte composta predominantemente por icnofósseis verticais, como *Skolithos*, *Arenicolites*, *Rosselia*, *Diplocraterion*, *Cylindrichnus* e *Schaubcylindrichnus*, mas também apresenta, icnofósseis horizontais, como *Macaronichnus*, *Palaeophycus* e *Thalassinoides* (SEDORKO, NETTO e SAVRDA, 2018).

Por sua vez, as icnofábricas *Rhizocorallium-Palaeophycus* e *Palaeophycus* representam expressões proximais da icnofácies *Cruziana*. A icnodiversidade (*Asterosoma*, *Rosselia*, *Teichichnus*, *Palaeophycus*, *Rhizocorallium*, *Planolites*) engloba organismos suspensívoros, carnívoros ou detritívoros rasos, os quais são caracterizados tanto por estruturas verticais, quanto por estruturas horizontais, sugerindo que as condições paleoambientais indicam um melhor aproveitamento do substrato, assim como uma moderada energia hidrodinâmica e alta disponibilidade de matéria orgânica no substrato. Neste contexto, a icnofácies *Cruziana* proximal, reflete um paleoambiente mais estável que a da icnofácies *Skolithos*, sendo encontrada em ambientes com elevada oxigenação, promovida pela agitação constante dos sedimentos de fundo.

A icnofácies *Skolithos* é comum em ambiente marinho, principalmente entre o *foreshore* e o *shoreface*, representando principalmente zonas litorâneas, onde há constante influência de ação das ondas normais e de correntes de fundo (BUATOIS & MÁNGANO, 2011; FREY & DASHTGARD, 2011). Devido à predominância das fácies arenosas, de granulometria fina e estruturas marcadas por ondas, este intervalo foi interpretado como representando partes do *shoreface* em regimes de alta energia, com influência de ondas de tempo bom, e menos frequente, de ondas de tempestades (RODRIGUES *et al.*, 1988; BERGAMASCHI, 1992; DINO *et al.*, 1995).

9.2. *Offshore* transicional (FA-2): 432,6 - 421,0 m

No intervalo 432,6 - 421,0 m (figura 26) é possível perceber a transição entre os arenitos da fácies S1, com uma sequência predominantemente pelítica, de fácies argilosa M1 intercaladas com fácies silticas (M2), com laminação plano paralela e presença de grânulos piritizados.

Além da diferença litológica, há uma mudança no registro icnológico, que tende a apresentar um domínio da icnofábrica *Zoophycos*, a qual se estende por quase todo o intervalo. Esta icnofábrica é compreendida na expressão arquetípica da icnofácies *Cruziana*, sendo encontrado os icnogêneros *Zoophycos*, *Asterosoma*, *Rhizocorallium*, *Teichichnus*, *Chondrites*, *Schaubcylindrichnus*, *Palaeophycus*, *Planolites* e *Helminthopsis*. A icnofácies *Cruziana* arquetípica é composta predominantemente por estruturas horizontais, produzidas por organismos detritívoros, e, em porções pouco expressivas, por estruturas verticais, produzidas por organismos suspensívoros (BUATOIS & MÁNGANO, 2011).

Esta icnofácies está associada a substratos pelíticos, com finas lentes arenosas, sugerindo um contexto de *offshore* transicional, correspondente a unidade basal da Formação Ponta Grossa, representada pelo Membro Jaguariaíva, em estágios iniciais de transgressão marinha e conseqüente afogamento dos sistemas parálicos do intervalo superior da Formação Furnas (BERGAMASCHI, 1999).

A icnofábrica *Glossifungites*, caracterizada por *Thalassinoides* e *Rhizocorallium*, neste intervalo, foi interpretada como sendo pertencente a icnofácies *Glossifungites*. A icnofácies *Glossifungites*, ocorre aproximadamente na profundidade de 429 m (figura 26), em argilitos laminados (fácies M1), logo abaixo de siltitos (fácies M2). Segundo Sedorko *et al.* (2022), logo acima da suíte *Glossifungites*, ocorre uma superfície

transgressiva de erosão marinha e, de acordo com Tognoli *et al.* (2003), esta suíte evidencia uma interpretação alogênica, relacionada a um evento de regressão forçada.

Sedorko, Netto e Savrda (2018) reconheceram a icnofácies *Glossifungites*, marcada por *Arenicolites* e *Skolithos* e, com a ocorrência de *Thalassinoides*, identificando, a partir desta icnofácies, um provável evento de regressão forçada dentro do contexto transgressivo geral dessa sequência deposicional. Esta suíte, caracterizada por substratos firmes, ocorre sobreposta as icnofácies *Cruziana* proximal e icnofácies *Skolithos*.

Este intervalo (432,6 - 421,0 m) foi interpretado por Gama *et al.*, (2021) como representativo da icnofácies *Zoophycos* na Formação Ponta Grossa. Contudo, a presença de icnogêneros típicos da icnofácies *Cruziana* (*i.e.*, *Asterosoma*, *Rhizocorallium*, *Teichichnus*, *Chondrites*, *Schaubcylindrichnus*, *Palaeophycos*, *Planolites* e *Helminthopsis*) não corrobora com o diagnóstico da icnofácies *Zoophycos*, que é caracterizada por baixa icnodiversidade e colonização em contexto de acentuada disoxia (*e.g.* BUATOIS & MÁNGANO, 2011; SEDORKO *et al.*, 2018b). Portanto, esta icnofábrica assinala condições de *offshore* transicional influenciada por tempestades.

9.3. *Offshore* (FA-1): 421 – 370 m

O intervalo 421 – 370 m (figura 26) é composto por um extenso pacote de argilitos laminados da fácies M1, com expressões de siltitos da fácies M2 e presença de piritizações. As litologias apresentam condições oriundas de ambientes anóxicos e de baixa energia, onde predominam rochas com elevada argilosidade (*e.g.*, LÜNING & KOLONIC, 2003). A elevada quantidade de matéria orgânica destes pelitos permite inferir condições mais profundas, além de que, a elevada presença de argilominerais na matriz, assim como a ausência de granulometria em fração arenosa, podem indicar assinaturas deposicionais de *offshore* (PEREIRA, 1992; BERGAMASCHI, 1999).

Além disso, a escassez de mudanças texturais, granulométricas e composicionais, é um indicativo de que fluxos trativos, como tempestitos ou mesmo turbiditos não atingiam o fundo. A arquitetura icnológica e sedimentar corrobora neste cenário, uma vez que é comum a baixa ocorrência de estruturas verticalizadas, assim como são frequentes as estratificações plano paralelas. Além do intervalo ser caracterizado por baixo índice de bioturbação, que varia de 0-2, icnofábricas são relacionadas ao contexto de alta disoxia, tais como *Chondrites* e *Phycosiphon*, interpretadas como sendo pertencentes a icnofácies

Cruziana, na expressão distal. A icnofácies *Cruziana* distal envolve um predomínio de escavações de níveis profundos, geralmente associados a organismos depositívoros. Os icnogêneros que mais estão associados a esta icnofácies, no testemunho, são *Zoophycos*, *Chondrites*, *Phycosiphon*, *Planolites* e *Helminthopsis*.

No entanto, os icnogêneros mais comuns são *Chondrites*, *Zoophycos* e *Phycosiphon*, os quais, associados, ou não, indicam estresse na oxigenação do substrato (BROMLEY, & EKDALE, 1984; SAVRDA & BOTTJER, 1986) e, portanto, representam condições disóxicas. A baixa icnodiversidade, a presença de pirita e do icnogênero *Phycosiphon*, também sugerem um baixo nível de oxigenação, assim como a grande quantidade de matéria orgânica presente no substrato (BUATOIS & MÁNGANO, 2011).

Ainda, neste intervalo, na profundidade de aproximadamente 390 m (figura 26), ocorre a presença da icnofábrica *Glossifungites*, aqui interpretada como pertencente a icnofácies *Glossifungites*. De acordo com Buatois *et al.* (1992), esta icnofácies pode ser um indicativo de superfícies de omissão (*e.g.* superfície de inundação máxima), proveniente de períodos de raseamento e de queda do nível de base. As feições erosivas, associadas a uma tendência agradacional a progradacional, das rochas que ocorrem logo acima desta icnofácies, pode indicar uma diminuição no espaço de acomodação, e, portanto, talvez haja um limite de sequências, associado a icnofácies *Glossifungites*, neste nível.

Por fim, as condições deposicionais das fácies sedimentares, essencialmente compostas por argilitos laminados, assim como a presença da icnofácies *Cruziana* distal, frequentemente associada com contextos distais, que variam de anóxicos a disóxicos, como por exemplo *offshore*, são indicativos de que o ambiente não tinha energia hidrodinâmica suficiente para colocar o substrato e o alimento disponível em suspensão e, portanto, explica o predomínio de estruturas de organismos detritívoros rasos e depositívoros.

9.4. *Offshore* transicional (FA-2): 370 – 345 m

O intervalo 370 – 345 m (figura 26) é composto majoritariamente por rochas com acamamento heterolítico (H) com estruturas *fláser* e estruturas lenticulares (*linsen bedding*), intercaladas com silititos (M2) e, em menor quantidade, intercaladas com argilitos laminados (M1), com laminações plano-paralelas e, finas camadas de arenito.

Ao longo do intervalo ocorrem níveis piritizados, laminações cruzadas por onda, e pontualmente, estratificações cruzadas *hummocky* colaborando para interpretações de um sistema marinho raso (plataformal) com influência de ondas e tempestades (BERGAMASCHI, 1999).

A diferença nas associações faciológicas, as quais gradaram de fácies essencialmente pelítica (M1 e M2) para fácies majoritariamente heterolíticas (H), indicam uma diferença no aporte sedimentar, assim como na energia hidrodinâmica, uma vez que rochas com acamamento heterolítico, são usualmente formadas em regimes em que há alternância de decantação (fácies pelíticas) e processos trativos (fácies arenosas) (*e.g.*, READING, 1996). Por vezes observa-se uma rápida e rítmica alternância entre estes modos deposicionais, o que é evidenciado por estruturas de escape de água, devido ao efeito de fluidização.

A bioturbação é bastante frequente, abrangendo valores que variam entre 3 e 5, com os maiores valores de icnodiversidade do intervalo estudado, sendo predominante as icnofábricas *Asterosoma*, *Asterosoma-Rhizocorallium* e *Asterosoma-Zoophycos*, as quais são compostas por estruturas produzidas por diferentes icnogêneros, como *Palaeophycus*, *Zoophycos*, *Chondrites*, *Phycosiphon*, *Schaubcylindrichnus*, *Helminthopsis*, *Planolites*, *Asterosoma*, *Rhizocorallium*, *Teichichnus* e *Skolithos*.

Portanto, as icnofábricas são interpretadas como pertencentes a icnofácies *Cruziana* arquetípica, apresentando predomínio de estruturas horizontais, produzidas por organismos detritívoros e depositívoros, assim como algumas estruturas biogênicas, produzidas por organismos de hábitos suspensívoros. A elevada icnodiversidade e densidade de escavações da icnofácies *Cruziana* arquetípica, assim como a variação litológica frequente, indicam condições de boa oxigenação no substrato, sob um contexto estável em regime de *offshore* transicional, abaixo das ondas de tempo bom e, frequentemente acima das ondas de tempestade.

9.5. Interpretação Paleoambiental

Os dados possibilitaram o reconhecimento de diferentes associações de fácies, todas inferindo configurações de um ambiente deposicional marinho raso, com ampla influência de ondas e eventos de tempestade, sendo elas, *Shoreface*, *Offshore* transicional e *Offshore*.

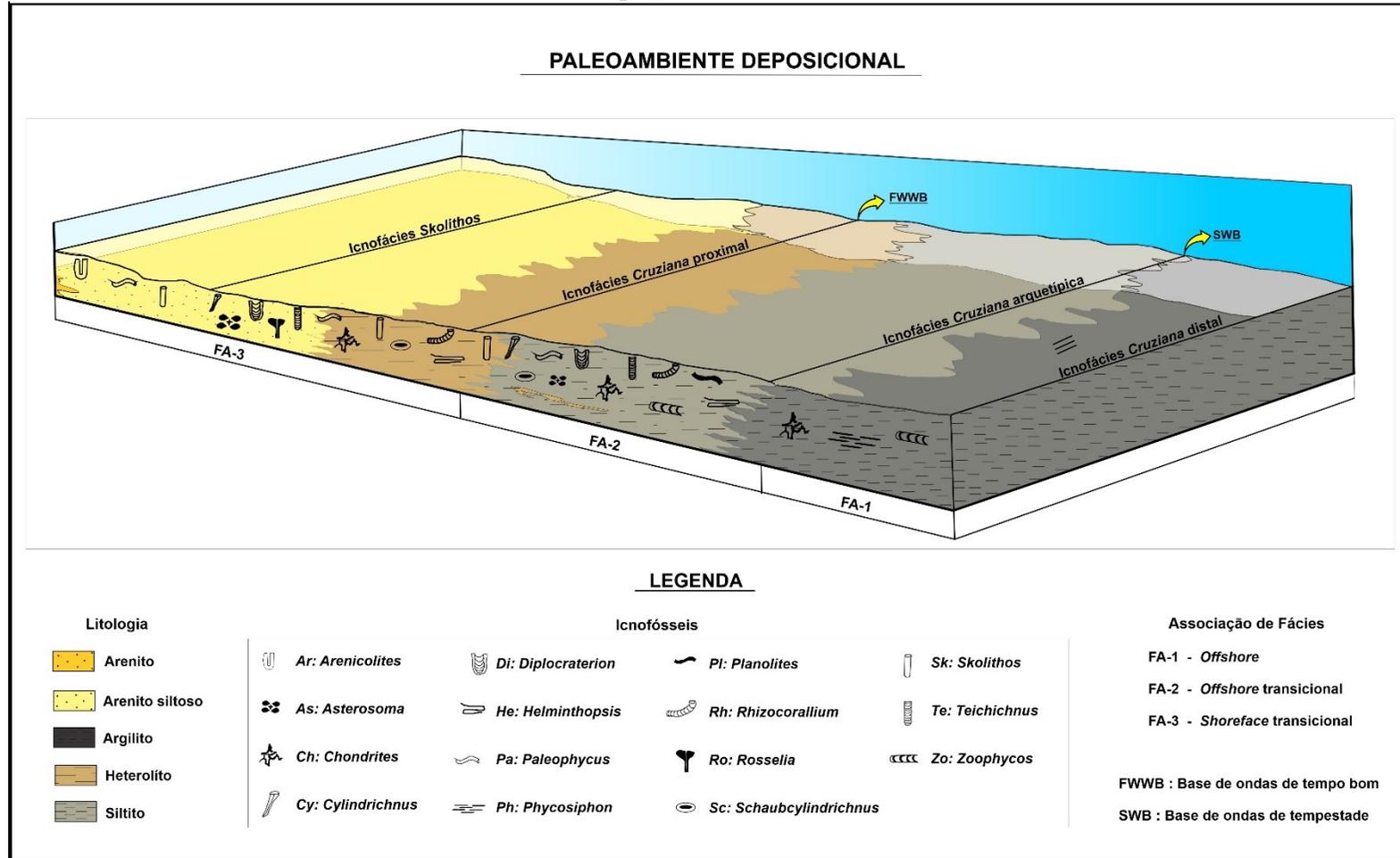
A zona de *shoreface*, dividida em *shoreface* superior (figura 27), e *shoreface* inferior (figura 27), as quais são separadas por uma zona de arrebentação, é representada, neste estudo de caso, pela associação de fácies FA3, a qual situa-se entre a zona de influência do nível de maré baixa, até o nível de base da ação das ondas de tempo bom. As fácies de *shoreface* (FA3) são predominantemente arenosas (S1), com estratificações cruzadas produzidas por onda, oriundas da ação das ondas de tempo bom. Nesta zona, predominam as icnofácies *Skolithos* e *Cruziana proximal* (BUATOIS & MÁNGANO, 2011).

A zona de *offshore* transicional (figura 27), ocorrem desde o nível base da ação das ondas de tempo bom até o nível de base das ondas de tempestades. As fácies de *offshore* transicional são marcadas por por siltitos (M2), e por uma frequente variação de argilito/siltito e arenito fino, representativa de heterolitos (H), os quais evidenciam acamamento *flaser* e lenticular, e, por vezes, apresentam estratificação cruzada por onda, e estratificações cruzadas *hummocky*, produzidas em contexto de ondas de tempestade.

Na zona transicional, a flutuação energética, evidenciada pela variação litológica, indica que as frações arenosas foram depositadas em contexto oriundos da ação de ondas de tempestades, por tração, e as frações argilosas, depositadas em contextos de ondas de tempo bom, por suspensão. Nesta zona, predomina a icnofácies *Cruziana* arquetípica (BUATOIS & MÁNGANO, 2011).

A zona de *offshore* (figura 27), apresenta litologia composta predominantemente por argilitos, com menor ocorrência de siltitos, podendo ser representada pela litofácies M1. Nesta porção há pouca ou ausência de bioturbações, baixa icnodiversidade, assim como evidências de ambiente disóxico, refletindo um contexto marinho distal, durante uma transgressão marinha. Nesta zona há predomínio da icnofácies *Cruziana* distal (BUATOIS & MÁNGANO, 2011).

Figura 27. Paleoambiente deposicional interpretado para o intervalo entre 345,0 - 438,8 m do testemunho de sondagem do poço 2-TB-1-PR.



Fonte: o autor, 2023.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do intervalo descrito do testemunho de sondagem do poço 2-TB-1-PR foi possível reconhecer as duas formações do Grupo Paraná, sendo elas representadas pelo topo da Formação Furnas (451,6 - 432,6 m), em contato com a base da Formação Ponta Grossa, especificamente o Membro Jaguariaíva (432,6 – 345 m). As icnofábricas identificadas (icnofábricas *Skolithos*, *Zoophycos*, *Palaeophycus*, *Chondrites*, *Rhizocorallium* – *Palaeophycus*, *Phycosiphon*, *Asterosoma*, *Asterosoma* – *Zoophycos*, *Asterosoma* – *Rhizocorallium* e *Glossifungites*) foram agrupadas em cinco expressões de icnofácies, sendo elas: icnofácies *Skolithos* e icnofácies *Cruziana* em expressões, proximais, arquetípicas e distais e icnofácies *Glossifungites*. Por sua vez, as fácies sedimentares foram divididas em arenosas (S1, S2), heterolíticas (H) e pelíticas (M1, M2).

A partir da associação de fácies foi possível enquadrar o contexto paleodeposicional do Membro Jaguariaíva, em configuração plataformar, sob condições marinhas rasas, uma vez que as icnofácies indicam ambientes que variam em *shoreface* superior (icnofácies *Skolithos* e *Glossifungites*), *shoreface* inferior, (icnofácies *Cruziana* proximal), *offshore* transicional (icnofácies *Cruziana* arquetípica) até o *offshore* (*Cruziana* distal). A presença e a interpretação de alguns icnogêneros específicos, como *Phycosiphon* foi relevante para refinar estes posicionamentos.

As fácies sedimentares arenosas, heterolíticas e pelíticas, também colaboraram para interpretar um ambiente marinho, uma vez que apresentam frequentemente estratificações cruzadas, produzidas principalmente por ondas, acamamento heterolítico *fláser* e lenticular, assim como frequentes estratificações cruzadas *hummockys*, evidenciando um contexto influenciado por ondas e correntes, e eventualmente afetado por tempestades, contribuindo num melhor posicionamento das icnofácies, junto aos seus respectivos paleoambientes deposicionais. Fósseis de braquiópodes ainda corroboram esta interpretação marinha.

O reconhecimento das fácies sedimentares, associadas as icnofácies, demonstrou ser uma importante ferramenta na interpretação paleodeposicional do testemunho do poço 2-TB-1-PR, possibilitando realizar interpretações paleoambientais e paleoecológicas. Por fim, o Membro Jaguariaíva possui predomínio de expressões da icnofácies *Cruziana* (expressões proximais, arquetípicas e distais), com esparsas ocorrências da icnofácies

Glossifungites. Salienta-se ainda a ausência da icnofácies *Zoophycos* nos estratos do Devoniano da Bacia do Paraná, embora tenha sido referida na literatura.

11. REFERÊNCIAS

ABDEL-FATTAH, Z. A.; GINGRAS, M. K.; CALDWELL, M. W., PEMBERTON, S. G.; MARCEACHERN, J. A. The *Glossifungites* ichnofacies and sequence stratigraphic analysis: a case study from middle to upper Eocene successions in fayum, Egypt. **Ichnos**, v. 23, n. 3-4, p. 157-179, 2016.

ANDRADE, S. M.; CAMARÇO, P. E. N. Sequências sedimentares pré-carboníferas dos flancos nordeste da Bacia do Paraná e sudoeste da Bacia do Parnaíba e suas possibilidades uraníferas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32., 1982, Salvador. **Anais do...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1982. v. 5, p. 2132-2144.

ASSINE, M. L. **Aspectos da estratigrafia das sequências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil**. 1996. 207 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

ASSINE, M. L. Fácies, icnofósseis, paleocorrentes e sistemas deposicionais da Formação Furnas no flanco sudeste da Bacia do Paraná. **Brazilian Journal of Geology**, v. 29, n. 3, p. 357-370, 1999.

ASSINE, M. L.; PETRI, S. Caracterização faciológica da formação Furnas na Estado do Paraná. **Anais**, v. 1, p. 242-244, 1996.

BALISTIERI, P. R. M. N.; NETTO, R. G. A *Glossifungites* suite in deposits of the Itararé Group (Upper Carboniferous–Lower Permian of Paraná Basin) at Mafra region, north of Santa Catarina State, Brazil: ichnotaxonomy, and paleoecological and stratigraphical constraints. **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 55, p. 91-106, 2002.

BELAÚSTEGUI, Z.; EKDALE, A. A.; DOMENÈCH, R.; MARTINELL, J. Paleobiology of firmground burrowers and cryptobionts at a Miocene omission surface, Alcoi, SE Spain. **Journal of Paleontology**, v. 90, n. 4, p. 721-733, 2016.

BERGAMASCHI, S. Análise sedimentológica da Formação Furnas na faixa de afloramentos do flanco norte do arco estrutural de Ponta Grossa, Bacia do Paraná, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 16, p. 140-140, 1992.

BERGAMASCHI, S. **Análise estratigráfica do Siluro-Devoniano (Formações Furnas e Ponta Grossa) da sub-bacia de Apucarana, Bacia do Paraná, Brasil.** 1999. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1999.

BORGHI, L. **Caracterização e análise faciológica da Formação Furnas em afloramentos do bordo leste da Bacia do Paraná. Rio de Janeiro. Instituto de Geociências, UFRJ.** Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, 227p, 1993.

BOSETTI, E. P.; HORODYSKI R. S.; ZABINI, C.; MATSUMURA, W. M. K.; GODOY, L. C. Primeira ocorrência de *Lingulepis* (Brachiopoda-Obolidae) no Devoniano do estado do Paraná, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 5, n. 2, p. 151-164, 2010.

BROMLEY, R. G. Trace fossils at omission surfaces. In: **The study of trace fossils.** Springer, Berlin, Heidelberg, p. 399-428, 1975.

BROMLEY, R.G. **Trace fossils: Biology, Taphonomy and Applications.** Chapman & Hall London. 361. 1996.

BROMLEY, R. G.; EKDALE, A. A. Chondrites: a trace fossil indicator of anoxia in sediments. **Science**, v. 224, n. 4651, p. 872-874, 1984.

BROMLEY, R. G.; EKDALE, A. A. Composite ichnofabrics and tiering of burrows. **Geological magazine**, v. 123, n. 1, p. 59-65, 1986.

BROMLEY, R. G.; ALLOUE, J. Trace fossils in bathyal hardgrounds, Mediterranean Sea. **Ichnos: An International Journal of Plant & Animal**, v. 2, n. 1, p. 43-54, 1992.

BUATOIS, L. A.; MÁNGANO, M. G. **Ichnology: Organism-substrate interactions in space and time.** Cambridge University Press, 2011.

BUATOIS, L. A.; MÁNGANO, M. G.; ACEÑOLAZA, F. G. **Trazas fósiles: Señales de comportamiento en el registro estratigráfico.** Museo Paleontológico Egidio Feruglio, 2002.

CIGUEL, J. H. G. **Bioestratigrafia dos *Tentaculitoidea* no flanco oriental da Bacia do Paraná e sua ocorrência na América do Sul (Ordoviciano-Devoniano).** 1989. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

CLARKE, J. M. **Fósseis devonianos do Paraná.** Monografia do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil. Rio de Janeiro, v.1, p. 353, 1913.

DELLA FÁVERA, J. C. **Tempestitos da bacia do Parnaíba.** Tese de Doutorado, IG-UFRGS, Porto Alegre, v. 243, 1990.

DERBY, O. A. The geology of the diamantíferous region of the Province of Paraná, Brazil. **Proceedings of the American Philosophical Society**, p. 251-258, 1878.

DINIZ, M. N. **Interpretação ambiental da Formação Ponta Grossa na parte central da Bacia do Paraná: um estudo de subsuperfície**. 1985. Tese de Doutorado-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, p.148, 1985.

DINO, R., BERGAMASCHI, E., PEREIRA, E., MELO, J. H. G., LOBOZIAK, S., & STEEMANS, P. Biochronostratigraphic investigations of the Pragian and Emsian stages on the southeastern border of the Paraná Basin. In: **2º Simposio sobre cronoestratigrafia da bacia do Paraná**. ILEA-UFRGS, Porto Alegre, Brazil, 1995.

EKDALE, A. A.; BROMLEY, R. G.; KNAUST, D. The ichnofabric concept. In: **Developments in Sedimentology**. Elsevier, 2012. p. 139-155.

EKDALE, A.A.; BROMLEY, R.G.; PEMBERTON, S.G. **Ichnology: trace fossilis in sedimentology and stratigraphy**. [S.l.]: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 317, 1984. (Short Course 15).

FERNANDES, A. C. S. **Os icnofósseis do Ordoviciano, Siluriano e Devoniano da Bacia do Paraná**. 1996. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Geologia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

FREY, S. E.; DASHTGARD, S. E. Sedimentology, ichnology and hydrodynamics of strait-margin, sand and gravel beaches and shorefaces: Juan de Fuca Strait, British Columbia, Canada. **Sedimentology**, v. 58, n. 6, p. 1326-1346, 2011.

GAMA, R. M. A.; COSTA, K. B.; REIS, D. E. S.; PEREIRA, E. Paleoenvironmental evolution of an Early Devonian section from Paraná Basin (South of Brazil) based on a multiproxy approach. **Journal of Sedimentary Environments**, p. 1-13, 2022.

GINGRAS, M. K.; PEMBERTON, S. G.; SAUDERS, T.; CLIFTON, H. E. The ichnology of modern and Pleistocene brackish-water deposits at Willapa Bay, Washington; variability in estuarine settings. **Palaios**, v. 14, n. 4, p. 352-374, 1999.

GINGRAS, M. K.; MACEACHERN, J. A.; PICKERILL, R. K. Modern perspectives on the Teredolites ichnofacies: observations from Willapa Bay, Washington. **Palaios**, v. 19, n. 1, p. 79-88, 2004.

GINGRAS, M. K.; MACEACHERN, J. A.; DASHTGARD, S. E. Process ichnology and the elucidation of physico-chemical stress. **Sedimentary Geology**, v. 237, n. 3-4, p. 115-134, 2011.

GRAHN, Y.; MAULLER, P. M.; BREUER, P.; BOSETTI, E. P.; BERGAMASCHI, S.; PEREIRA, E. The Furnas/Ponta Grossa contact and the age of the lowermost Ponta Grossa Formation in the Apucarana Sub-basin (Paraná Basin, Brazil): integrated palynological age determination. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 13, n. 2, p. 89-102, 2010.

GRAHN, Y.; MAULLER, P. M., BERGAMASCHI, S., BOSETTI, E. P. Palynology and sequence stratigraphy of three Devonian rock units in the Apucarana Sub-basin (Paraná Basin, south Brazil): additional data and correlation. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 198, p. 27-44, 2013.

HUBBARD, S. M.; MACEACHERN, J. A.; BANN, K. L. Slopes. In: **Developments in Sedimentology**. Elsevier, p. 607-642, 2012.

HORODYSKI, R. S.; BRETT, C. E.; SEDORKO, D; BOSETTI, E. P.; SCHEFFLER, S. M.; GHILARDI, R. P.; LANUZZI, R. Storm-related taphofacies and paleoenvironments of Malvinokaffric assemblages from the Lower/Middle Devonian in southwestern Gondwana. **Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology**, v. 514, p. 706-722, 2019.

KAYSER, F. H. E. Alguns fósseis paleozóicos do Estado do Paraná. **Revista do Museu Paulista**, São Paulo, n. 4, p. 301-311, 1900.

KEIDEL, J. La geología de las sierras de la Provincia de Buenos Aires y sus relaciones con las montañas de Sud Africa y los Andes. **Anales del Ministerio de Agricultura de la Nación, Sección Geología, Mineralogía y Minería**, Buenos Aires, v. 9, n. 3, p. 1-78, 1916.

KNAUST, D. **Atlas of trace fossils in well core: appearance, taxonomy and interpretation**. Springer, 2017.

KOZLOWSKI, R. Fossiles devoniens de l'État de Paraná. **Annales de Paléontologique**, Paris, v. 8, p. 105- 123, 1913.

LANGE, F. W.; PETRI, S. The Devonian of the Paraná Basin. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 21/22, p. 5-55, 1967.

LÜNING, S.; KOLONIC, S. Uranium spectral gamma-ray response as a proxy for organic richness in black shales: Applicability and limitations. **Journal of petroleum geology**, v. 26, n. 2, p. 153-174, 2003.

LOBATO, G.; BORGHI, L. Análise estratigráfica da Formação Furnas (Devoniano Inferior) em afloramentos da borda leste da Bacia do Paraná.

In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS**, v. 3, p. 1-6, 2005.

MACEACHERN, J. A.; BURTON, J. A. Firmground Zoophycos in the Lower Cretaceous Viking Formation, Alberta: a distal expression of the Glossifungites ichnofacies. **Palaios**, v. 15, n. 5, p. 387-398, 2000.

MACEACHERN, J. A.; PEMBERTON, S. G. **Ichnological aspects of incised-valley fill systems from the Viking Formation of the Western Canada Sedimentary Basin**, Alberta, Canada. 1994.

MACEACHERN, J. A.; RAYCHAUDHURI, I.; PEMBERTON, S. G. **Stratigraphic applications of the Glossifungites ichnofacies: delineating discontinuities in the rock record**. 1992.

MACEACHERN, J. A.; STELCK, C. R.; PEMBERTON, S. G. Marine and Marginal Marine Mudstone Deposition: Paleoenvironmental Interpretations Based on the Integration of Ichnology, Palynology and Foraminiferal Paleocology, 1999. In: BERGAMAN, K. M. & SNEDDEN, J. W. (eds). **Isolated Shallow Marine Sand Bodies: Sequence Stratigraphic Analysis and Sedimentological Interpretation: Society for Sedimentary Geology Special Publication 64**, 205-225, 1999.

MACEACHERN, J. A.; ZAITLIN, B. A.; PEMBERTON, S. G. High-resolution sequence stratigraphy of early transgressive deposits, Viking Formation, Joffre Field, Alberta, Canada. **AAPG bulletin**, v. 82, n. 5, p. 729-756, 1998.

MARTINSSON, A.; CRIMES, T. P.; HARPER, J. C. Toponomy of trace fossils. **Trace fossils**, v. 1, p. 323-330, 1970.

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

MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. **Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CDR**, p. 265-291, 2004.

MILANI, E. J. *et al.* Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007

MILANI, E. J., RAMOS, V. A. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 4, p. 473-484, 1998.

NETTO, R. G.; TOGNOLI, F. M. W.; ASSINE, M. L.; NARA, M. Crowded *Rosselia* ichnofabric in the Early Devonian of Brazil: An example of strategic behavior. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 395, p. 107-113, 2014.

NUMMEDAL, D.; SWIFT, D. J. P. Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: some principles derived from Holocene and Cretaceous examples. In: NUMMEDAL, D.; PILKEY, O. H. & HOWARD, J. D. (Eds.) **Sea level flotation and coastal Evolution. Society of economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication**, v 42, p 241-260, 1987.

PEARSON, N. J.; MÁNGANO, M. G.; BUATOIS, L. A.; CASADIO, S.; RAISING, M. R. Ichnology, sedimentology, and sequence stratigraphy of outer-estuarine and coastal-plain deposits: Implications for the distinction between allogenic and autogenic expressions of the Glossifungites Ichnofacies. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 333, p. 192-217, 2012.

PEMBERTON, S. G. **Ichnology & sedimentology of shallow to marginal marine systems: Ben Nevis & Avalon Reservoirs, Jeanne d'Arc Basin**. St. John's: Geological Association of Canada, v.15, 2001.

PEMBERTON, S. G.; FREY, R. W. Biogenic structures in outcrops and cores. I. Approaches to ichnology. **Bulletin of Canadian Petroleum Geology**, v. 33, n. 1, p. 72-115, 1985.

PEMBERTON, S. G.; MACEACHERN, J. A. **The sequence stratigraphic significance of trace fossils**: examples from the Cretaceous foreland basin of Alberta, Canada. 1995.

PEREIRA, E. **Análise estratigráfica do Paleozóico médio da sub-bacia do Alto Garças no sudoeste de Goiás, Bacia do Paraná, Brasil**. Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, IF-UFRJ, v. 16, p. 139-140, 1992.

PLANTZ, J. B.; CARELLI, T. G.; SANTOS, B. R. C.; MAULLER, P. M.; BORGHI, L.; RAMOS, R. R. Uso de espectrometria de raios-gama aplicado à caracterização de sucessões argilosas: estudo de caso em um intervalo devoniano da borda leste da Bacia do Paraná, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 48, n. 1, 2021.

POLLARD, J. E.; GOLDRING, R.; BUCK, S. G. Ichnofabrics containing Ophiomorpha: significance in shallow-water facies interpretation. **Journal of the Geological Society**, v. 150, n. 1, p. 149-164, 1993.

READING, H. G. Clastic coasts. **Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy**, 1996.

REINECK, H.-E. Sedimentgefüge im Bereich der südlichen Nordsee: **Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft**, v. 505, p. 1-138, 1963.

REINECK, H. -E. Parameter von Schichtung und bioturbation. **Geologische Rundschau**, v. 56, n. 1, p. 420-438, 1967.

RINDSBERG, A. K. **Ichnotaxonomy**: finding patterns in a welter of information. In: Knaust D., Bromley R.G. (ed.). Trace fossils as indicators of sedimentary environments. Amsterdam, Elsevier, v. 64, p. 45–78, (Developments in Sedimentology). 2012.

RODRIGUES, M. A. C.; PETEIRA, E. & BERGAMASCHI, S. Análise faciológica da sequência superior da Formação Furnas: identificação de depósitos deltaicos e de ilhas-de-barreira nas regiões de Ponta Grossa e Tibagi, PR. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. 1988.

RUPPERT, E. E.; FOX, R. S.; BARNES, R. D. **Invertebrate zoology: a functional evolutionary approach**. Brooks/Cole Publishing Company, 2004.

SAVRDA, C. E. Teredolites, wood substrates, and sea-level dynamics. **Geology**, v. 19, n. 9, p. 905-908, 1991.

SAVRDA, C. E.; BOTTJER, David J. Trace-fossil model for reconstruction of paleo-oxygenation in bottom waters. **Geology**, v. 14, n. 1, p. 3-6, 1986.

SEDORKO, D.; FRANCISCHINI, H. **Ichnologia: interações entre organismos e substratos**. Editora CRV, 2021.

SEDORKO, D.; NETTO, R. G.; SAVRA, C. E.; ASSINE, M. L.; TOGNOLI, G. M. Chronostratigraphy and environment of Furnas Formation by trace fossil analysis: calibrating the lower Paleozoic Gondwana realm in the Paraná Basin (Brazil). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 487, p. 307-320, 2017.

SEDORKO, D. **Análise icnológica do intervalo Siluriano-Devoniano da Bacia do Paraná e sua aplicabilidade em estudos de variações relativas do nível do mar**. 2018. Tese de Doutorado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2018.

SEDORKO, D.; NETTO, R. G.; HORODYSKI, R. S. A Zoophycos carnival in Devonian beds: Paleoeological, paleobiological, sedimentological, and

paleobiogeographic insights. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 507, p. 188-200, 2018a.

SEDORKO, D.; NETTO, R. G.; SAVRDA, C. E. Ichnology applied to sequence stratigraphic analysis of Siluro-Devonian mud-dominated shelf deposits, Paraná Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 83, p. 81–95, 2018b.

SEDORKO, D.; NETTO, R. G.; HORODYSKI, R. S. Tracking Silurian-Devonian events and paleobathymetric curves by ichnologic and taphonomic analyzes in the southwestern Gondwana. **Global and Planetary Change**, v. 179, p. 43-56, 2019.

SEDORKO, D.; NETTO, R. G.; SCHEFFLER, S. M.; HORODYSKI, R. S.; BOSETTI, E. P.; GHILARDI, R. P.; MAULLER, P. M.; VARGAS, M. R.; SANTOS, R. V.; SILVA, R. C. S.; JUNIOR, L. M. Paleoeologic trends of Devonian Malvinokaffric fauna from the Paraná Basin as evidenced by trace fossils. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 109, p. 103-200, 2021.

SEDORKO, D.; NETTO, R. G.; MÁRTIN, J. V.; DASGUPTA, S.; TOGNOLI, F. M.W.; PLANTZ, J. B.; CARELLI, T; BORGHI, L. Glossifungites suites and tubular tempestites in Devonian shallow-marine deposits from Paraná Basin. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 522, 2022.

SEILACHER, A. Biogenic sedimentary structures. In: IMBRIE, J.; NEWELL, N. (Ed.). **Approaches to paleoecology**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, p. 296–316, 1964.

SEILACHER, A. General remarks about event deposits. In: **Cyclic and event stratification**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1982. p. 161-174.

SELLEY, R. C. **Applied sedimentology**. Elsevier, 2000.

SHIRAIWA, S. **Flexura da litosfera continental sob os Andes centrais e a origem da Bacia do Pantanal**. 1994. 85 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. Editora Blucher, 2003.

TAYLOR, A. M.; GOLDRING, R. Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. **Journal of the Geological Society**. London, v. 150, n. 1, p. 141-148, 1993.

TOGNOLI, F. M. W.; ASSINE, M. L.; NETTO, R. G. Paleodepositional interpretations based on the integration between ichnology and sedimentology, Ponta Grossa Formation, eastern Paraná Basin, Brazil. In: **CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE SEDIMENTOLOGIA**. 2003, p. 65-67.

VAIL, P. R.; MITCHUM, R. M.; THOMPSON, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: PAYTON, C. E. (Ed.). **Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1977. p. 63-81. (AAPG. Memoir, 26).

VARGAS, M. R.; SILVEIRA, A. S.; BRESSANE, A.; D'AVILLA, R. S. F.; FACCION, J. E.; PAIM, P. S. G. The Devonian of the Paraná Basin, Brazil: sequence stratigraphy, paleogeography, and SW Gondwana interregional correlations. **Sedimentary Geology**, v. 408, p. 105768, 2020.

VOSSLER, S. M.; PEMBERTON, S. G. Skolithos in the Upper Cretaceous Cardium Formation: an ichnofossil example of opportunistic ecology. **Lethaia**, v. 21, n. 4, p. 351-362, 1988.

WALKER, R.G. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: Walker R.G. & James N.P. (ed.). **Facies models: response to sea level change**. Ontario, Geological Association of Canada, p. 1-14, 1992.

YANG, B., DALRYMPLE, R. W., GINGRAS, M. K., & PEMBERTON, S. G. Autogenic occurrence of Glossifungites Ichnofacies: Examples from wave-dominated, macrotidal flats, southwestern coast of Korea. **Marine Geology**, v. 260, n. 1-4, p. 1-5, 2009.

ZANOTTO, O. A. Erosão pós-Cretáceo na Bacia do Paraná, com base em dados de reflectância da vitrinita. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 5., 1993, Curitiba. **Resumos**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 1993. p. 58.