

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ASSINATURAS LITOLÓGICAS DA SUCESSÃO SEDIMENTAR RIO BONITO NO
BLOCO CENTRAL DA JAZIDA CARBONÍFERA DE IRUÍ, CACHOEIRA DO SUL
(RS)**

ROSANA GANDINI

São Leopoldo, novembro de 2008

ROSANA GANDINI

**ASSINATURAS ICNOLÓGICAS DA SUCESSÃO SEDIMENTAR RIO BONITO NO
BLOCO CENTRAL DA JAZIDA CARBONÍFERA DE IRUÍ, CACHOEIRA DO SUL
(RS)**

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geologia da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos –
UNISINOS, para obtenção do Título de
Mestre (Área de Concentração em
Geologia Sedimentar)**

Orientador: Prof^ª. Dra. Renata Guimarães Netto (UNISINOS/RS)

Co-Orientador: Prof. Dr. Ernesto L. C. Lavina (UNISINOS/RS)

Banca avaliadora:

Prof. Dr. Francisco M. W. Tognoli (UNESP /SP)

Prof. Dr. Ricardo da Cunha Lopes (CPRM/UNISINOS/RS)

UNISINOS/CCET/PPGeo

“SÓ OS FORTES SOBREVIVEM”

Adaptado de Hebert Spencer (1858),

pelos alunos do D.A.Geo.

ATESTADO DE APROVAÇÃO

Atestamos que a dissertação de Mestrado

"ASSINATURAS ICNOLÓGICAS DA SUCESSÃO SEDIMENTAR RIO BONITO NO BLOCO CENTRAL DA JAZIDA CARBONÍFERA DE IRUÍ (CACHOEIRA DO SUL, RS)"

apresentada por **ROSANA GANDINI** foi aceita e aprovada como atendimento parcial aos requisitos para a obtenção do grau de **MESTRE EM GEOLOGIA**.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Francisco Manoel Wohnrath Tognoli

UNESP



Prof. Dr. Ricardo da Cunha Lopes

CPRM

Presidente da Banca Examinadora:



Profª. Drª. Renata Guimarães Netto

UNISINOS

São Leopoldo, 04 de novembro de 2008.

AGRADECIMENTOS

- À CPRM - Serviço Geológico do Brasil, pela cedência dos testemunhos de sondagem e dos dados das pastas de poços, que serviram de amostragem para este trabalho.

- À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos pelo Programa PROSUP e pelos equipamentos adquiridos pelo edital Pró-equipamentos, Processo n°.1675/2007, que propiciaram que este trabalho pudesse ser executado.

- À UNISINOS pela infra-estrutura proporcionada aos alunos do curso de Pós-Graduação para realização de seus trabalhos.

- Aos amigos e funcionários do Laserca (Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia Digital), André Tauchert, Marcos Turani e Telmo Valles, pela assessoria nas impressões finais.

- Aos colegas do curso de pós-graduação, pelo apoio recíproco durante o curso.

- Aos colegas, amigos biólogos, paleontólogos e geólogos, pelo companheirismo nestes anos de jornada e pelos que ainda virão.

- Ao pessoal do DAGEO, pelos momentos de descontração e relaxamento mental.

- Ao amigo e colega de mestrado, Henrique Parisi Kern, pelo eterno companheirismo e discussões acaloradas.

- À amiga e colega Adriana Rost Rossi, pelo companheirismo de todas as horas.

- À amiga e colega Daiana Boardman, por toda sua experiente ajuda.

- Ao amigo e colega Roberto Francine, que com sustentabilidade, lembrava-me que o sol estaria a brilhar ao meu retorno.

- Aos nossos professores, pela paciência e dedicação e pelo dom de serem nossos mestres.

- Aos professores Ricardo Cunha Lopes e Gérson Fauth, pela dicas e revisões deste trabalho no Seminário Final.

- Ao professor Ernesto Luiz Lavina, pela orientação do ponto de vista sedimentológico.

- À minha mãe e a meu pai, Nelsir e Ernani, pela estrutura familiar e pelo apoio financeiro e sentimental, que me fizeram até hoje seguir o caminho.

- Um agradecimento muito grande e especial à minha orientadora, amiga e mentora, Renata Guimarães Netto, que há seis primaveras me fez um sorriso convidativo a adentrar no mundo paleontológico.

- e, ao Antônio.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS EM ANEXO	7
LISTA DE TABELAS EM ANEXO	9
RESUMO	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
3. METODOLOGIA	15
4. ATRAVÉS DO TEMPO GEOLÓGICO	
4.1. A Bacia do Paraná	17
4.2. A Seqüência Sedimentar Rio Bonito/Palermo	18
4.3. A paleoicnologia da Seqüência Sedimentar Rio Bonito/Palermo	20
4.4. Assinaturas icnológicas: primeiros indícios	22
5. Assinaturas icnológicas da sucessão sedimentar Rio Bonito no bloco central da Jazida Carbonífera de Iruí, Cachoeira do Sul (RS)	24
6. CONCLUSÃO	77
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
8. ANEXOS	86

LISTA DE FIGURAS EM ANEXO

- Figura 1. Localização da área de estudos dentro da faixa de afloramentos permianos da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul (modificado de Kern, 2008 e CPRM, 2001).
- Figura 2. Carta estratigráfica da Bacia do Paraná (Milani *et al.*, 1997).
- Figura 3. Legenda dos perfis sedimentológicos e das seções estratigráficas.
- Figura 4. Perfil sedimentológico para a sucessão sedimentar Rio Bonito, na área de Cachoeira do Sul, RS, a partir do testemunho de sondagem IB-06-RS.
- Figura 5. Fácies de leques aluviais (Pg) intercalados a fácies de planície de inundação (SiltArg) no testemunho de sondagem IB-04-RS (profundidade entre 285,20 e 277,00 m). Icnofábrica simples de *Planolites* (BI 1-2) na fácies de planície de inundação (SiltArg), profundidade entre 278,30 e 277,50 m. Escala: 10 cm.
- Figura 6. Perfil sedimentológico composto do topo da sucessão Rio Bonito apresentando as variações dos fatores ecológicos limitantes, influenciando diretamente no índice de bioturbação e diversidade da população.
- Figura 7. Perfil sedimentológico do testemunho de sondagem IB-15-RS.
- Figura 8. Fácies de canais e barras de marés (litofácies Aq2), contendo a icnofábrica de *Ophiomorpha*, e fácies de *foreshore*, contendo a icnofábrica de *Cylindrichnus-Thalassinoides*. Testemunho de sondagem IB-15-RS, profundidade entre 287,00 e 273,00 m. Escala: 10 cm.
- Figura 9. Icnofábricas nas principais litogias. A) Depósitos de canais e barras de maré: arenitos com baixo grau de bioturbação (BI 1-2), com icnofábrica de *Ophiomorpha*, contendo também *Skolithos* (Sko). Testemunho IB-15-RS, entre 287,00 e 285,00 m. B) Depósitos heterolíticos de fácies de baía estuarina, com bioturbação moderada (BI 2-3) por *Helminthopsis* (Hel). Testemunho IB-04-RS. C) Depósitos pantanosos: siltitos argilosos com bioturbação moderada (BI 2-3), da icnofábrica de *Chondrites-Helminthopsis-Planolites*. Testemunho IB-01-RS, entre 204,00 e 203,50 m. D) Compressão de folha de *Glossopteris* sp., testemunho IB-15-RS, a 272,00 m. E) Icnofábrica de *Palaeophycus*, com baixo índice de bioturbação (BI 1), em litofácies heterolítica, testemunho IC-56-RS, 246,00 m. F) Icnofábrica de *Helminthopsis*, na litofácies de Aq1, em fácies de *foreshore*, testemunho IB-06-RS, a 208,00 m. Escala: 10 cm.
- Figura 10. Icnofábricas em depósitos marinhos de *foreshore*. A) Icnofábrica de *Cylindrichnus-Thalassinoides* (Cyl-Tha) em litofácies Aq1, nas fácies de *foreshore*, contendo *Ophiomorpha* (Ophi) e *Teichichnus* (Tei) associados, com índice de bioturbação moderado (BI 2-3). B, C) Icnofábrica de *Macaronichnus*

(Mac), em litofácies de Aq1 nos testemunhos de sondagens IB-06-RS, a 230,00 m e em IB-15-RS, a 295 e 291,00 m, preservada em palimpsesto sobre *Ophiomorpha* (Ophi). Escala: 10 cm.

Figura 11. Diferentes colonizações da icnofábrica de *Thalassinoides*, em contexto de Icnofácies Glossifungites, com índice de bioturbação baixo (BI 2). A) Preservação em litofácies SiltCarb, no testemunho de sondagem IB-15-RS, a 295,50 m. B) Preservação em litofácies de Ht, em IC-20-RS, a 189,55 m. C) Preservação em litofácies de SiltCarb, em IC-20-RS, entre 201,00 e 198,00 m, correspondente ao Limite de Seqüência. D) Preservação em palimpsesto da icnofábrica de *Thalassinoides*, em contexto da Icnofácies Glossifungites, cortando a icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus*, no testemunho de sondagem IB-06-RS, entre 202,00 e 201,00 m. E) Preservação em litofácies Ht, em IB-06-RS, entre 204,00 e 202,30 m.

Figura 12. Icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis*. A. Um índice de bioturbação alto (BI 4-5) e maior icnodiversidade ocorre na litofácies Ht, no topo do testemunho de sondagem IC-20-RS, entre 196,00 e 191,00 m, assim como no topo da maioria dos testemunhos de sondagem. B. Detalhe do intervalo 195,65 m, com escavações dominadas por *Thalassinoides* e *Palaeophycus*. C, D. Escavações de *Teichichnus* diminutos e com spreite curtos. A. Escala: 10 cm. B, C e D: Escala: 3 cm.

Figura 13. Gráfico da relação de diversidade de espécies, icnofácies e níveis de salinidade (modificado de Wignall, 1991 e de Mángano & Buatois, 2004). A área marinho franco mostra uma máxima icnodiversidade, representativa da icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis*, que caracteriza uma Icnofácies Cruziana. A redução da diversidade caracteriza faunas de águas salobras e, conseqüentemente, de uma baixa icnodiversidade, representadas pelas icnofábricas de *Thalassinoides-Palaeophycus* (Icnofácies Cruziana empobrecida) e de *Cylindrichnus-Thalassinoides* (Icnofácies mista Skolithos-Cruziana). Uma alta icnodiversidade é reflexo de condições flúvio-estuarinas associadas a biotas de água doce/terrestres, representada pelas icnofábricas de *Palaeophycus*, *Planolites* e *Helminthopsis*.

Figura 14. Estágios de desenvolvimento da Icnofácies Glossifungites (modificado de MacEachern et al., 1992).

Figura 15. Perfil sedimentológico do testemunho de sondagem IB-04-RS.

Figura 16. Seção estratigráfica 1.

Figura 17. Seção estratigráfica 2.

Figura 18. Seção estratigráfica 3.

Figura 19. Seção estratigráfica 4.

Figura 20. Perfil sedimentológico do testemunho de sondagem IC-20-RS.

LISTA DE TABELAS EM ANEXO

Tabela 1. Descrição das litofácies, com a icnofábrica que ocorre em cada litofácies, nas respectivas associações de fácies.

RESUMO

Ambientes marginais marinhos são áreas em constante transição que limitam o desenvolvimento das biotas. Fatores ecológicos limitantes da vida bentônica como salinidade, oxigenação, energia e exposição do substrato, condicionam o comportamento dos organismos. A salinidade atua nestes meios como um regulador natural na distribuição da fauna e sua flutuação, combinada aos demais fatores ambientais, resulta em condições fisiologicamente estressantes para muitos organismos. Os depósitos de subsuperfície da sucessão sedimentar Rio Bonito no bloco central da jazida carbonífera de Iruí (Cachoeira do Sul, RS) contêm as icnofábricas de *Chondrites*, *Chondrites-Helminthopsis-Planolites*, *Cylindrichnus-Thalassinoides*, *Helminthopsis*, *Macaronichnus*, *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Thalassinoides*, *Thalassinoides-Palaeophycus* e *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis*, distribuídas em associações de fácies representativas de depósitos costeiros e marinhos rasos. As icnofábricas presentes nos depósitos costeiros são caracterizadas pelo baixo índice de bioturbação, pelo tamanho reduzido das escavações e pela baixa icnodiversidade, enquanto que a de depósitos marinhos rasos apresenta moderado a alto índice de bioturbação e maior icnodiversidade. O padrão de cada icnofábrica, sua distribuição estratigráfica e seus vínculos faciológicos permitiram reconhecer quatro assinaturas icnológicas principais, três indicativas de estresse por salinidade e uma substrato-controlada. As icnofábricas de *Helminthopsis*, *Palaeophycus* e *Planolites* presentes na litofácies SiltArg sugerem o domínio de águas oligoalinas a doces. As icnofábricas de *Thalassinoides-Palaeophycus* e *Cylindrichnus-Thalassinoides* refletem domínio de águas mesoalinas, representando, respectivamente, uma suíte de ambientes mais estáveis e com menor energia (suíte empobrecida de Icnofácies Cruziana) e uma suíte de ambiente com maior energia (suíte de Icnofácies mista Skolithos-Cruziana). A icnofábrica *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* caracteriza uma suíte marinha rasa de Icnofácies Cruziana arquetípica; o tamanho reduzido das escavações, contudo, sugere domínio de águas polialinas, e a ocorrência pontual das icnofábricas, deposição em enseadas, que mimetizariam as condições ambientais encontradas na zona de *shoreface* inferior/transição ao *offshore*. A icnofábrica de *Thalassinoides* é substrato-controlada e ocorre em contexto de Icnofácies Glossifungites, demarcando superfícies

estratigráficas autocíclicas nas seqüências C e D e uma superfície estratigráfica alocíclica que separa as seqüências basais da seqüência E. A análise integrada da sedimentologia e da icnologia dos depósitos estudados, em alta resolução, permitiu refinar as interpretações paleoambientais e estratigráficas pré-existentes para a sucessão sedimentar Rio Bonito na área de estudo.

Palavras-chave: icnologia, sedimentologia, icnofábricas, assinaturas icnológicas, depósitos costeiros.

ABSTRACT

Marginal-marine environments are permanently transitional areas, constraining the biocoenosis development. Ecological features such as salinity gradient, available oxygen content, energy in biotope and substrate consistency and exposure control the animal behavior and impact in the establishment of benthic life. In these environments, the salinity gradient works as a natural regulator of faunal distribution and its fluctuation, combined with the afore mentioned features, results in stressing physiological conditions for many organisms. Thus, the biogenic sedimentary structures produced by the endobenthic fauna in these environments commonly reflect this stress. The subsurface deposits of the Rio Bonito sedimentary succession in the central block of the Iruí coal mine (Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul State, southern Brazil) is composed of sedimentary facies associations that represent deposition in dominantly marginal marine and shallow marine settings, the later in minor scale. Ichnofabrics of *Chondrites*, *Chondrites-Helminthopsis-Planolites*, *Cylindrichnus-Thalassinoides*, *Helminthopsis*, *Macaronichnus*, *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Thalassinoides*, and *Thalassinoides-Palaeophycus* occur in the marginal marine settings, while the *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* ichnofabric is present in the shallow marine deposits. The marginal-marine ichnofabrics are characterized by the low bioturbation index, the reduced size of burrows, and the low ichnodiversity, whereas the marine ones show a moderate to high degree of bioturbation and ichnodiversity. The ichnofabric pattern, its stratigraphic distribution, and its sedimentological relationships allow recognizing four ichnological signatures, three suggesting stress caused by changes in the salinity gradient, and one substrate-controlled. Ichnofabrics of *Helminthopsis*, *Palaeophycus*, and *Planolites* in lithofacies SiltArg suggest the dominance of oligohaline to freshwater conditions. Ichnofabrics of *Thalassinoides-Palaeophycus* and *Cylindrichnus-Thalassinoides* reflect the dominance of mesohaline conditions, each one representing, respectively, more calm and stable environments (impoverished Cruziana Ichnofacies suite), and moderate to high energy settings (mixed Skolithos-Cruziana Ichnofacies suite). The *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* ichnofabric represents an arquetypical Cruziana Ichnofacies suite, indicating shallow marine settings. The reduced size of the burrows,

however, suggests dominance of polyhaline rather than stenohaline conditions and its local distribution allow infer deposition in embayments, which mimic the environmental conditions found in the lower *shoreface/offshore* transition zones. The *Thalassinoides* ichnofabric is substrate controlled, representing Glossifungites Ichnofacies suites. It demarcates autocyclic stratigraphic surfaces in sequences C and D, and an allocyclic stratigraphic surface (sequence boundary) that separates the basal sequences from the sequence E. The integrated analysis of the ichnology and sedimentology of the studied deposits, in high resolution scale, allowed refine the pre-existent paleoenvironmental and stratigraphic interpretations of the Rio Bonito sedimentary succession in the study area.

Key words: ichnology, sedimentology, ichnofabrics, ichnological signatures, coastal deposits.

1. INTRODUÇÃO

Iconofósseis são registros autóctones que permitem análises paleossinecológicas mais precisas, já que refletem a forma como seus produtores respondem aos estímulos do meio, refinando as inferências paleoambientais (e.g., Seilacher, 1964, 1967; Frey, 1975; Ekdale *et al.*, 1984; Frey & Pemberton, 1984; Bromley & Ekdale, 1986; Bromley, 1996; Buatois *et al.*, 2002).

Os depósitos da sucessão sedimentar Rio Bonito/Palermo são ricos em estruturas sedimentares biogênicas e apresentam características de ambientes marginais marinhos e marinhos rasos, incluindo zonas intermarés, lagunas, estuários, baías e deltas, caracterizados por condições muito variáveis (e.g., Schneider *et al.*, 1974; Aboarrage & Lopes, 1986; Lavina & Lopes, 1987; Netto, 1994; Lopes, 1995; Buatois *et al.*, 2001, 2007; Lopes & Lavina, 2001; Tognoli, 2002; Holz, 2003). Estudos prévios sobre a icnologia desses depósitos revelaram variações no padrão da bioturbação entre os depósitos marginais marinhos e marinhos rasos, relacionado ao domínio de condições ecológicas estressantes, nos primeiros, e ótimas, nos segundos (Netto *et al.*, 1991; Netto, 1994; Buatois *et al.*, 2001, 2007; Tognoli, 2002; Tognoli & Netto, 2003).

Concentrando predominantemente depósitos marginais-marinhos, a porção da sucessão correspondente à Formação Rio Bonito contém menor quantidade e diversidade de bioturbação, se comparada àquela que corresponde à Formação Palermo, na área de estudo (Netto, 1994; Buatois *et al.*, 2001, 2007). Flutuações nas taxas de salinidade e oxigenação, comuns em ambientes marginais marinhos, combinadas aos fatores físicos, resultam em ambientes fisiologicamente estressantes para diversos grupos animais endobentônicos, que deixam preservadas em suas estruturas as respostas às condições ambientais como reflexo de seu comportamento. A análise do conjunto da icnofauna, da forma como se organizam e seus vínculos faciológicos caracterizam as assinaturas icnológicas de uma sucessão e permite avaliar, de forma subjetiva, o impacto dos aspectos que controlam a distribuição dos organismos bentônicos nos diferentes meios. O reconhecimento das assinaturas icnológicas presentes nos depósitos da Formação Rio Bonito permitirá avaliar a influência desses fatores químicos no meio físico, contribuindo para o refinamento das interpretações paleoambientais e estratigráficas pré-existentes.

2. OBJETIVOS

- Definir as assinaturas icnológicas da sucessão sedimentar equivalente à Formação Rio Bonito no bloco central da jazida carbonífera do Iruí, Cachoeira do Sul, RS.
- Refinar as interpretações estratigráficas e paleoambientais a partir da análise integrada da sedimentologia e da icnologia dos depósitos em questão.
- Fornecer subsídios para estudos estratigráficos de alta resolução.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho faz parte do projeto “Icnologia e Estratigrafia: subsídios para estudos de alta resolução Fase II” e compõe parte dos estudos “Assinaturas icnológicas em ambientes transicionais e marinhos rasos: caracterização e aplicação na análise de fácies deposicionais”, subsidiado pelo CNPq (processo 479457/2007-7). Foi desenvolvido conjuntamente com o trabalho “Arquitetura Estratigráfica de Corpos Arenosos Gerados por Ondas e Marés no Bloco Central da Mina de Iruí (Formação Rio Bonito, Eopermiano da Bacia do Paraná, RS)”, que forma a dissertação de mestrado de Henrique Parisi Kern, defendida em 2008 no PPGeo UNISINOS, e que supriu os dados faciográficos e a maior parte das interpretações estratigráficas e paleoambientais assumidas nesta dissertação.

Para a descrição da icnofauna presente na sucessão, foram utilizados testemunhos de 13 sondagens, a saber: IB-01-RS, IB-03-RS, IB-04-RS, IB-06-RS, IB-08-RS, IB-15-RS, IB-17-RS, IB-22-RS, IB-74-RS, IC-20-RS, IC-32-RS, IC-36-RS e IC-56-RS (CPRM, 1982, 1987, 1988, Anexos), amostrados no bloco central da jazida carbonífera do Iruí (Cachoeira do Sul, RS), pertencentes ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e temporariamente armazenados no galpão de testemunhos da UNISINOS. Outros 18 conjuntos de testemunhos, IB-02-RS, IB-07-RS, IB-09-RS, IB-12-RS, IB-21-RS, IB-28-RS, IB-29-RS, IB-138-RS, IC-04-RS, IC-10-RS, IC-12-RS, IC-21-RS, IC-45-RS, IC-48-RS, CA-19-RS, CA-20-RS, CA-64-RS, CA-74-RS (CPRM, 1980, 1981, 1987, 1988) foram utilizados apenas para a correlação dos depósitos.

A descrição dos testemunhos foi feita conjuntamente com H.P. Kern e foi focada no intervalo que caracteriza a Formação Rio Bonito na área de estudo, desde o embasamento até a base da Formação Palermo (nos testemunhos em que esta ocorre). A descrição sedimentológica baseou-se no reconhecimento da textura (granulometria e composição mineralógica) e das estruturas sedimentares presentes nas rochas, levando em conta aspectos diagnósticos do tipo de processo envolvido na deposição de cada fácies (e.g., acamadamento, energia do meio, forma de leito, área fonte). A descrição icnológica baseou-se nas técnicas para descrição de icnofábricas (texturas geradas pela ação da bioturbação, preservada em 2D) definidas em Netto (2001), com avaliação dos principais icnogêneros presentes e estimativa do índice de bioturbação de Taylor & Goldring (1993), em cada fácies. Ambas as descrições foram feitas na escala centimétrica, de forma a representar a relação entre a icnofauna e as litofácies em alta resolução.

Para a caracterização das icnofábricas, levou-se em conta os seguintes aspectos: tipo de estrutura biogênica (de bioturbação, bioerosão ou biodeposição), icnodiversidade, tamanho das

escavações, padrões de agrupamentos, intensidade de ocorrência. Tais aspectos foram comparados a uma amostra ideal marinha rasa, já que os meios marinhos rasos mostram as maiores icnodiversidades e intensidade de bioturbação, onde todos os níveis e hábitos tróficos do bento estão melhor representados (Frey, 1975; Bromley, 1996; Pemberton *et al.*, 2001; Buatois *et al.*, 2002). Além disso, a fauna costeira salobra é composta essencialmente por organismos marinhos que toleram redução no gradiente de salinidade (Pemberton & Wightman, 1992), sendo necessário ter um parâmetro marinho raso plataformal para comparação. O parâmetro utilizado foram os estudos efetuados por Netto & Gonzaga (1985) e Netto (1994), que descreveram as icnofaunas marinhas da Formação Palermo em testemunhos de sondagem da mesma área de estudo.

Para o registro visual deste estudo, toda a sucessão descrita foi fotografada e os intervalos contendo icnofábricas detalhados, utilizando-se câmara digital Sony CyberShot de 8.1 megapixels. Como medida de escala utilizou-se o diâmetro do testemunho (4,5 cm) para as fotos de detalhe, e escala gráfica para as fotos de conjunto, colocadas na base de cada caixa.

O perfil de raios gama, disponível na pasta de cada poço, foi utilizado como elemento de controle do empilhamento, já que alguns testemunhos não se mostravam completos, e como referência para as correlações estratigráficas nas seções. Como datum foi utilizada a litofácies de carvão, que ocorre em todos os testemunhos descritos e possui ampla lateralidade horizontal. As características das litofácies descritas foram sintetizadas na Tabela 1, já que a descrição detalhada das mesmas compõe o trabalho de Kern (2008).

Visando agilizar a publicação dos resultados, optou-se por escrever a dissertação em forma de artigo, levando em conta a tendência atual e o incentivo do Programa de Pós-graduação em Geologia da Unisinos à produção bibliográfica do corpo discente. Assim, esse trabalho é composto de capítulos gerais introdutórios, um artigo completo (em processo de submissão), conclusões e lista de referências (do artigo e capítulos introdutórios) e figuras em anexo (figuras dos capítulos e figuras complementares).

4. ATRAVÉS DO TEMPO GEOLÓGICO

4.1. A Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é uma vasta região sedimentar da América do Sul, abrangendo porções territoriais do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai, com aproximadamente 1.500.000 km² (Milani, 1997), sendo uma das bacias sedimentares brasileiras mais importantes (Fig. 1).

A Bacia do Paraná surge, entre os episódios de evolução tectônica e paleogeográfica do supercontinente Gondwana, como uma extensa depressão intracratônica preenchida com sedimentos paleozóicos, mesozóicos, lavas basálticas e, localmente, rochas cenozóicas (Rocha-Campos, 1967; Schneider *et al.*, 1974). A evolução de sua sedimentação também envolve uma complexa interação de fatores tectônicos, paleogeográficos e paleoclimáticos (Santos *et al.*, 1996).

Os depósitos permianos da sucessão sedimentar Rio Bonito/Palermo registram o evento de transgressão marinha que sucede o final do episódio glacial que afetou o supercontinente Gondwana durante o Carbonífero (Habekost, 1978, 1983; Lavina *et al.*, 1985; Lavina & Lopes, 1987; Lopes, 1995, Milani, 1997). Esses depósitos se estendem desde o sul do Estado de São Paulo até o sul-sudeste do Estado do Rio Grande do Sul (Aboarrage & Lopes, 1986; Milani, 1997; Tognoli *et al.*, 2001). No Rio Grande do Sul, assentam-se sobre rochas do embasamento pré-cambriano ou sobre depósitos da Formação Rio do Sul ao longo da maior parte da borda leste-sudeste da bacia, onde afloram preferencialmente nas minas de carvão a céu aberto existentes ao longo da BR-290 e zonas adjacentes.

Estudos de aplicação voltados essencialmente à geologia sedimentar vêm sendo realizados desde o início do último século na Bacia do Paraná, especialmente no que se refere à Formação Rio Bonito. Dentre estes trabalhos, destaca-se a obra pioneira de White (1908) sobre a bacia, denominando esses depósitos como “folhelhos” e “arenitos” do Rio Bonito, pertencentes à “Série Tubarão”. O primeiro estudo que aborda de maneira ampla o posicionamento paleogeográfico do Escudo Sul-Rio-Grandense durante a glaciação gonduânica foi efetuado por Leinz (1937). Para os carvões, o autor admite, além de uma origem interglacial para algumas ocorrências, sua formação ao longo dos vales, em lagos periglaciais. Posteriormente, Gordon Jr. (1947) sugere a denominação Grupo Guatá para os siltitos e arenitos

aflorantes nas imediações da cidade de Guatá, no sul do Estado de Santa Catarina, que compõem as “camadas” Rio Bonito e Palermo de White (1908). Um pouco mais tarde, no mapa geológico do Rio Grande do Sul proposto por Pinto (1966), as unidades litoestratigráficas Itararé e Guatá foram consideradas como subgrupos do Grupo Tubarão. Rocha-Campos (1964) descreve detalhadamente as “seções tipo” destas formações, em SC e PR, citando pela primeira vez a ocorrência de estruturas biogênicas que mascaravam os planos de estratificação, dentre outros fósseis, como conchas aflorantes na cidade de Taió e a flora de *Glossopteris*.

Schneider *et al.* (1974) definiram a Formação Rio Bonito como sendo de idade permiana inferior, depositada sobre o Grupo Itararé, e elevaram o então Grupo Tubarão à categoria de supergrupo, constituído pelos Grupos Itararé e Guatá, este formado pelas formações Rio Bonito e Palermo. Na área central da bacia (SC e PR), a Formação Rio Bonito foi subdividida nos membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis (Fig. 2). No Rio Grande do Sul, tais membros não são reconhecidos e a formação é tratada como indivisa (Schneider *et al.*, 1974; Holz e Dias-Flor, 1984; Lavina *et al.*, 1985).

4.2. A seqüência sedimentar Rio Bonito/Palermo

A denominação Formação Rio Bonito foi adotada por Machado & Castanho (1956) para representar todos os sedimentitos de caráter continental, flúvio-lacustres, com intercalações de leitos carbonosos, compreendidos entre o Grupo Itararé e a Formação Palermo no Rio Grande do Sul (RS). Interpretaram a origem do carvão como tendo se formado a partir de turfeiras, as quais teriam se desenvolvido após o assoreamento de depressões formadas na época glacial pela re-sedimentação de depósitos glaciais. Admitiram ainda uma idade carbonífera superior para a Formação Rio Bonito. Foi este estudo o pioneiro em dar uma visão integrada da estratigrafia e da extensão das jazidas de carvão da Formação Rio Bonito no RS, que até os dias de hoje são objeto de inúmeros estudos e publicações. Ramos (1967) interpretou os depósitos carbonosos como depositados em zonas pantanosas, pouco acima do nível do mar, associados a depósitos fluvio-deltaicos ou de planícies de marés na borda leste da bacia, e, na oeste, a depósitos marinhos. Essa associação lateral de fácies caracterizaria o ambiente como transicional, com ação de eventos transgressivos e regressivos e possível migração lateral de deltas e depósitos interdelticos. Esta sedimentação seria consequência da transgressão progressiva, vinda de oeste. Essa interpretação é complementada pelas análises de Medeiros & Tomaz Filho (1973) e Schneider *et al.* (1974), que identificam a ingressão marinha de Taió (SC) no Membro Paraguaçu e o evento transgressivo representado pelos depósitos da Formação Palermo, que se assenta diretamente sobre o embasamento cristalino em áreas localizadas do RS. Siltitos cinzas a esverdeados, com laminações e camadas de arenitos predominantemente finos a médios, com laminações plano-paralela, ondulada e lenticular, *flaser* e muitas bioturbações compõem a

Formação Palermo, depositados em ambiente marinho transgressivo e de águas rasas (Ferreira *et al.*, 1978; Aboarrage & Lopes, 1986).

Diversos autores interpretaram a Formação Rio Bonito no RS como depósitos de caráter estritamente continental, representando sistemas flúvio-lacustres ou flúvio-deltaicos, a partir de análises micropaleontológicas (Dias-Fabrizio *et al.*, 1980; Dias-Fabrizio, 1981; Cazzulo-Klepzig & Guerra-Sommer, 1983). O caráter continental é restrito apenas para os intervalos basais a médios da unidade, gradando para um sistema litorâneo no topo, também foi inferido por Schneider *et al.* (1974), Lavina *et al.*, (1985), Holz (1987) e Lopes (1990).

Habekost (1983) realizou o primeiro trabalho de estudo detalhado da Formação Palermo no RS, concluindo, com base nas características litológicas e nas bioturbações presentes, que a sedimentação desta unidade deve ter ocorrido em um ambiente transicional de águas rasas, optando por interpretá-los como depósitos de planície de marés mista, entretanto admitindo que “*a diversidade de opiniões entre os diversos autores nem sempre permite chegar a uma identidade de pensamento*”. Holz & Dias-Flor (1984), em trabalho na região de Cachoeira do Sul, admitiram um paleoambiente caracterizado como continental transicional a marinho, sendo lacustre na base e, no topo, fluvial, com esporádicas transgressões marinhas, onde os arenitos de topo foram tidos como costeiros, vinculados à linha de costa. Ainda puderam caracterizar, a partir da sedimentologia das rochas estudadas na área, além de uma deposição em ambiente transicional a marinho, em um regime flúvio-lacustre e costeiro transgressivo, a influência de uma paleotopografia irregular.

Estudos com testemunhos de sondagem e afloramentos na região de Cachoeira do Sul realizados por Lavina *et al.* (1985) descreveram e interpretaram as fácies consideradas como continentais e de transição para a Formação Rio Bonito, caracterizando como Formação Palermo toda a seqüência marinha superior. Foram reconhecidas fácies de depósitos fluviais, deltaicos (planície deltaica, frente deltaica e lagunas), de ilhas de barreira (planície atrás da barreira, campos de dunas eólicas e canal de maré), de depósitos praias e de *shoreface*, de depósitos de tempestades e de pelitos de costa afora, relacionando a deposição a um grande ciclo transgressivo, ocorrido a partir do Eopermiano, tendo o oceano avançado sobre os continentes, formando mares epicontinentais já no tempo Palermo. O estudo posterior realizado por Lavina & Lopes (1987), que correlacionaram testemunhos de 70 sondagens, pôde reunir as fácies sedimentares por afinidades genéticas da seqüência Tubarão em dois grandes grupos: fácies continentais e de planície costeira e fácies marinhas transgressivas. Os autores sugeriram que a região das jazidas de Capané, Iruí e Leão se formou durante episódios transgressivos, quando a sedimentação em *onlap* gerou uma interdigitação de depósitos continentais/transicionais com depósitos marinhas. As primeiras transgressões deram-se nas regiões de São Gabriel e Cachoeira do Sul, afogando posteriormente todo o sistema. Lopes *et al.* (1986) e Lavina & Lopes (1987) também reconheceram a existência de três pulsos

transgressivos durante o desenvolvimento das turfeiras que deram origem às jazidas de carvão no Rio Grande do Sul. Estudos posteriores e pontuais na região feitos por Albuquerque & Lopes (1990) e por Gonçalves *et al.* (1990) revelaram a variabilidade lateral das fácies costeiras relacionadas à Formação Rio Bonito,

A análise estratigráfica realizada por Lopes (1995) na região de Butiá e São Sepé mostrou a existência de uma discordância erosiva no contato entre o Grupo Itararé e a Formação Rio Bonito, marcando um limite de seqüência. Holz & Dias (1998) reconheceram, para esta mesma seqüência, oito associações de fácies sedimentares e quatro seqüências de terceira ordem, também diagnosticadas por Elias *et al.* (2000) na região de São Sepé e Cambaí Grande (Vila Nova), a oeste de Cachoeira do Sul. Já Lopes & Lavina (2001) identificaram cinco superfícies erosivas (limites de seqüências LS1 a LS5) nos depósitos da região carbonífera do Jacuí (jazidas do Capané, do Iruí, de Pântano Grande e do Leão), com abruptas mudanças de fácies e deslocamento das fácies litorâneas em sentido às áreas plataformais. Quatro sistemas deposicionais foram reconhecidos pelos autores: deltaico, de barreiras litorâneas e marinho raso, estuarino e marinho de costa afora, conduzindo à delimitação de quatro seqüências de 3ª ordem, limitadas no topo e na base por superfícies erosionais. Estas seqüências representariam o contínuo processo de afogamento da bacia, fazendo parte dos tratos de sistema de mar baixo e transgressivo de uma seqüência de 2ª ordem. O carvão estaria associado à progradação deltaica, à restrição de corpos lagunares por sistema de barreiras litorâneas ou assoreamento de áreas lagunares por sistemas estuarinos, marcando o topo das parasseqüências, desenvolvidas por variações relativas do nível do mar ao nível da curva de 5ª ordem. Lopes *et al.* (2003a e 2003b) observaram o acúmulo de um grande volume de arenitos litorâneos marinhos rasos no terço superior da Formação Rio Bonito na região do Jacuí, incluindo arenitos vinculados a correntes de marés e ação de ondas, com a presença de depósitos deltaicos e fluviais na porção basal, ambos de composição arenosa.

4.3. A paleoicnologia da seqüência sedimentar Rio Bonito/Palermo

Um dos primeiros trabalhos que fazem referência aos icnofósseis nessa sucessão foi realizado por Putzer (1954), destacando a presença de “vermes” em sedimentitos marinhos da Formação Palermo, no sul de Santa Catarina. Desde então, a referência a “tubos de vermes” passou a ser comum, até o aparecimento dos primeiros estudos com maior detalhe sobre a icnofauna do Grupo Guatá (Habekost, 1978, 1983; Netto & Gonzaga, 1985; Boeira & Netto, 1987; Martini da Rosa *et al.*, 1993).

Trabalhando com testemunhos de sondagem, Habekost (1978, 1983) registrou alto número de bioturbações verticalizadas e fez relações com a frequência de bioturbação, associando-os a ambientes marinhos rasos ou a eles vinculados (transicionais) e a depósitos

lamacentos de ambiente fluvial. Associou também a densidade de bioturbação às condições do meio, como oxigenação da água, disponibilidade de alimento e baixa taxa de sedimentação. Destacou, ainda, a predominância das formas verticais em zonas de águas rasas, tendo as horizontais e formas-padrão, preferência para águas mais profundas e interpretou como ambiente de planície de marés mista para a deposição da Formação Palermo.

A primeira análise quanti-qualitativa da icnofauna da sucessão sedimentar Rio Bonito/Palermo foi feita por Netto & Gonzaga (1985), a partir da análise de afloramentos e de testemunhos de sondagens da jazida carbonífera do Iruí, Cachoeira do Sul, RS. Duas icnofácies foram reconhecidas: a de Skolithos, com icnofósseis verticais (*Arenicolites*, *Diplocraterion* e *Skolithos*, mais algumas formas com halo diagenético) associados a depósitos de moderada a alta energia; e a de Cruziana, constituída por formas horizontalizadas ou oblíquas ao plano de acamadamento (*Planolites*, *Rosselia*, *Teichichnus*, *Thalassinoides*, mais traços de pelecípodos e de artrópodos não descritos), associados a depósitos de moderada a baixa energia. A partir da análise icnológica, as autoras interpretaram os depósitos como transicionais para o terço superior da Formação Rio Bonito e marinhos rasos para a Formação Palermo.

No afloramento Barrocada, próximo a Cachoeira do Sul, Santos *et al.* (1990) registraram a presença dos icnogêneros *Isopodichnus*, *Planolites* e *Thalassinoides* em fácies pertencentes à Formação Rio Bonito e à base da Formação Palermo, além das icnofácies Skolithos e Cruziana, observadas em testemunhos de sondagem. Posteriormente, Netto *et al.* (1991) sugeriram deposição em complexo estuarino, a partir da análise icnológica e levando em conta a variedade de fácies transicionais presentes nestes mesmos depósitos.

Severiano Ribeiro *et al.* (1993) registram superfícies de “*hardgrounds*” marcadas por intensa bioturbação no “sistema costeiro Rio Bonito” no RS, assumindo esses níveis como indicadores do afogamento dos depósitos transicionais. Apesar de equivocada, essa denominação foi utilizada em alguns trabalhos publicados a partir de meados da década de 1980 até meados da década de 1990. *Hardground* é um termo utilizado para demarcar superfícies litificadas que são bioerodidas (Bromley, 1996; Buatois *et al.*, 2002) e os depósitos em questão contêm escavações (estruturas de bioturbação) e não perfurações (estruturas de bioerosão). Tratam-se, portanto, de substratos que estavam inconsolidados na época de colonização pela endofauna, i.e., *softgrounds*, cujos níveis ficaram destacados pela migração de fluidos ricos em óxido de ferro que estacionaram junto aos níveis mais bioturbados, formando crostas diagenéticas (R.G.Netto, comunicação pessoal).

4.4. Assinaturas icnológicas: primeiros indícios

A presença de uma paleoicnofauna na seqüência sedimentar Rio Bonito/Palermo foi ao longo do tempo, vinculada a ambientes costeiros nos depósitos superiores da Formação Rio Bonito ou base da Formação Palermo e, marinhos rasos, porções média e superior da Formação Palermo. Acompanhando a evolução nos conceitos sedimentológicos, houve um crescimento no número de estudos paleoicnológicos voltados para análises paleoecológicas, a partir dos parâmetros fornecidos pela icnofauna. Muito mais que delimitar os grupos orgânicos que os geraram, os traços fósseis refletem como viviam e interagem as biotas endo e epibênticas no substrato que as abrigava. Modos de vida, hábitos tróficos, grau de tolerância às variações de oxigênio, salinidade, turbulência e turbidez da água, e evolução dos padrões comportamentais são medidas que podem ser avaliadas a partir da análise de traços fósseis, garantindo uma boa margem de segurança na caracterização paleoecológica dos depósitos onde se preservam (Frey, 1975; Bromley, 1996; Buatois *et al.*, 2002; MacEachern *et al.*, 2007a,b,c). A partir dessas características, podem ser agrupadas as formas que representam situações paleoecológicas distintas e que permitem avaliar a dinâmica da biota e sua interação com o meio abiótico.

Com o intuito de testar a aplicabilidade dos icnofósseis na determinação de eventos paleoecológicos e paleoambientais, Netto (1994) realizou um trabalho pioneiro com os testemunhos das sondagens CA-61-RS, CA-74-RS, IB-29-RS, IB-98-RS e IB-177-RS previamente estudados por Netto & Gonzaga (1985), Lavina *et al.* (1985) e Aboarrage & Lopes (1986). A análise integrada da sedimentologia e da icnologia dos depósitos das formações Rio Bonito e Palermo permitiu o reconhecimento de três sistemas deposicionais: um continental (basal), um estuarino (intermediário) e um marinho transgressivo (topo). A análise icnológica revelou diversidade alta, com representação etológica diversificada, agrupando e caracterizando cinco icnocomunidades distintas, que se associaram e interagem nas icnofácies Skolithos, Glossifungites e Cruziana, bem como na interface Skolithos-Cruziana. A associação paleoicnológica refletiu um ambiente bem oxigenado, de salinidade e suprimento alimentar normais. A quantidade de bioturbação e as características paleoecológicas sugeriram a zona entre o “*shoreface*” distal e o “*offshore*” proximal como o local preferencial da deposição dos sedimentos da seqüência. A recorrência das icnofácies determinou o caráter transgressivo da sucessão, com interdigitações entre depósitos de trato de sistemas de mar baixo e trato de sistemas transgressivos, até o estabelecimento da superfície de inundação máxima.

Trabalhos de aplicação com enfoque icnológico, contudo, ainda são raros. Na sucessão Rio Bonito/Palermo, contudo, Buatois *et al.* (2001; 2007) promoveram estudos de detalhe integrando a análise icnológica, sedimentológica e estratigráfica, utilizando testemunhos da jazida carbonífera do Iruí. Tais estudos reafirmaram a natureza transgressiva da sucessão, a partir do incremento vertical da icnodiversidade, do aumento no índice de bioturbação, e da

passagem vertical de icnofaunas salobras para assembléias totalmente marinhas. Estruturas biogênicas simples, índice de bioturbação baixo, icnodiversidade baixa e dominância de escavações simples produzidas por organismos generalistas tróficos foram apontadas como as características dominantes da icnofauna nos depósitos representativos da Formação Rio Bonito, permitindo interpretar a influência de condições predominantemente estuarinas para estes depósitos. Em depósitos equivalentes do Paraná, Tognoli & Netto (2003) reconheceram uma icnocenose típica de ambientes salobros, a partir da inferência, pela icnofauna, de fatores paleoecológicos condicionantes da fauna bentônica, em especial salinidade, oxigenação e energia (taxa de sedimentação).

5. Assinaturas icnológicas da sucessão sedimentar Rio Bonito no bloco central da Jazida Carbonífera de Iruí, Cachoeira do Sul (RS)

GANDINI, R., NETTO, R.G., KERN, H.P. & LAVINA, E.L. 2008. *Gaea*, em submissão.

Este artigo traz a interpretação das análises de icnofábricas, a partir dos parâmetros ecológicos limitantes, sua distribuição estratigráfica e o reconhecimento das assinaturas icnológicas de expressão estratigráfica relevante.

Os autores contribuíram de forma unificada na descrição dos testemunhos de sondagem, no reconhecimento das principais icnofábricas e litofácies, elaboração das figuras e confecção do texto.

Assinaturas icnológicas da sucessão sedimentar Rio Bonito no bloco central da Jazida Carbonífera de Iruí, Cachoeira do Sul (RS)

Rosana Gandini¹, Renata Guimarães Netto², Henrique Parisi Kern¹ & Ernesto Luiz Lavina²

¹Programa de Pós-Graduação em Geologia, ²UNISINOS
gringasaxbio@gmail.com, nettorg@unisinios.br, dique76@gmail.com, lavina@unisinios.br

Resumo: As icnofábricas de *Chondrites*, *Chondrites-Helminthopsis-Planolites*, *Cylindrichnus-Thalassinoides*, *Helminthopsis*, *Macaronichnus*, *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Thalassinoides*, *Thalassinoides-Palaeophycus* e *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* foram reconhecidas nos depósitos costeiros e marinhos rasos da sucessão sedimentar Rio Bonito no bloco central da jazida carbonífera de Iruí (Cachoeira do Sul, RS). Nas associações de fácies de depósitos costeiros, caracterizam-se pelo baixo índice de bioturbação, pelo tamanho reduzido das escavações e pela baixa icnodiversidade, enquanto que nos depósitos marinhos rasos apresentam moderado a alto índice de bioturbação e icnodiversidade maior. O padrão de cada icnofábrica, sua distribuição estratigráfica e seus vínculos faciológicos permitiram reconhecer quatro assinaturas icnológicas principais, três indicativas de estresse por salinidade e uma substrato-controlada. As icnofábricas de *Helminthopsis*, *Palaeophycus* e *Planolites* presentes na litofácies SiltArg sugerem o domínio de águas oligoalinas a doces. As icnofábricas de *Thalassinoides-Palaeophycus* e *Cylindrichnus-Thalassinoides* refletem domínio de águas mesoalinas, representando, respectivamente, uma suíte de ambientes mais estáveis e com menor energia (suíte empobrecida de Icnofácies Cruziana) e uma suíte de ambiente com maior energia (suíte de Icnofácies mista Skolithos-Cruziana). A icnofábrica *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* caracteriza uma suíte marinha rasa de Icnofácies Cruziana. Entretanto, o tamanho reduzido das escavações, contudo, sugere domínio de águas polialinas, e a ocorrência pontual das icnofábricas, deposição em enseadas, que mimetizariam as condições ambientais encontradas na zona de *shoreface* inferior/transição ao *offshore*. A icnofábrica de *Thalassinoides* é substrato-controlada e ocorre em contexto de Icnofácies Glossifungites, demarcando superfícies estratigráficas autocíclicas nas seqüências C e D e uma superfície estratigráfica alocíclica que separa as seqüências basais da seqüência E. A análise integrada da sedimentologia e da icnologia dos depósitos estudados, em alta resolução, permitiu refinar as interpretações paleoambientais e estratigráficas pré-existentes para a sucessão sedimentar Rio Bonito, na área de estudo.

Palavras-chave: icnologia, sedimentologia, icnofábricas, assinaturas icnológicas, depósitos costeiros.

Abstract: The subsurface deposits of the Rio Bonito sedimentary succession in the central block of the Iruí coal mine (Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul State, Southern Brazil) comprise of sedimentary facies associations that represent deposition in dominantly marginal marine and shallow marine settings, the later in minor scale. Ichnofabrics of *Chondrites*, *Chondrites-Helminthopsis-Planolites*, *Cylindrichnus-Thalassinoides*, *Helminthopsis*, *Macaronichnus*, *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Thalassinoides*, and *Thalassinoides-Palaeophycus* occur in the marginal marine settings, whereas the *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* ichnofabric is present in the shallow marine deposits. The marginal-marine ichnofabrics are characterized by low bioturbation index, reduced size of burrows and low ichnodiversity whereas the marine ones show a moderate to high degree of bioturbation and ichnodiversity. The ichnofabric pattern, its stratigraphic distribution and its sedimentological relationships allow recognizing four ichnological signatures, three suggesting stress caused by changes in the salinity gradient and one substrate-controlled. Ichnofabrics of *Helminthopsis*, *Palaeophycus* and *Planolites* in lithofacies SiltArg suggest the dominance of oligohaline to freshwater conditions. Ichnofabrics of *Thalassinoides-Palaeophycus* and *Cylindrichnus-Thalassinoides* reflect the dominance of mesohaline conditions, each one representing, respectively, more calm and stable environments (impoverished Cruziana Ichnofacies suite) and moderate to high energy settings (mixed Skolithos-Cruziana Ichnofacies suite). The *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* ichnofabric represents an Cruziana Ichnofacies suite, indicating shallow marine settings. The reduced size of the burrows, however, suggests dominance of polyhaline rather than stenohaline conditions and its local distribution allow to infer deposition in embayments, which mimic the environmental conditions found in the lower *shoreface/offshore* transition zones. The *Thalassinoides* ichnofabric is substrate-controlled and representing Glossifungites Ichnofacies suites. It demarcates autocyclic stratigraphic surfaces in sequences C and D and an allocyclic stratigraphic surface that separates the basal sequences from the sequence E. The integrated analysis of the ichnology

and sedimentology of the studied deposits, in high resolution scale, allowed to refine the pre-existent paleoenvironmental and stratigraphic interpretations of the Rio Bonito sedimentary succession in the study area.

Key words: ichnology, sedimentology, ichnofabrics, ichnological signatures, coastal deposits.

Introdução

Icnofósseis são registros autóctones que permitem análises paleossinecológicas mais precisas, já que refletem a forma como seus produtores respondem aos estímulos do meio, refinando as inferências paleoambientais (e.g., Seilacher, 1964, 1967; Frey, 1975; Ekdale *et al.*, 1984; Frey & Pemberton, 1984; Bromley & Ekdale, 1986; Bromley, 1996; Buatois *et al.*, 2002).

Os depósitos da sucessão sedimentar Rio Bonito/Palermo são ricos em estruturas sedimentares biogênicas e apresentam características de ambientes marginais marinhos e marinhos rasos, incluindo zonas intermarés, lagunas, estuários, baías e deltas, caracterizados por condições muito variáveis (e.g., Schneider *et al.*, 1974; Aboarrage & Lopes, 1986; Lavina & Lopes, 1987; Netto, 1994; Lopes, 1995; Buatois *et al.*, 2001, 2007; Lopes & Lavina, 2001; Tognoli, 2002; Holz, 2003). Estudos prévios sobre a icnologia desses depósitos revelaram variações no padrão da bioturbação entre os depósitos marginais marinhos e marinhos rasos, relacionado ao domínio de condições ecológicas estressantes, nos primeiros, e ótimas, nos segundos (Netto *et al.*, 1991; Netto, 1994; Buatois *et al.*, 2001, 2007; Tognoli, 2002; Tognoli & Netto, 2003).

Concentrando predominantemente depósitos marginais-marinhos, a porção da sucessão correspondente à Formação Rio Bonito contém menor quantidade e diversidade de bioturbação, se comparada àquela que corresponde à Formação Palermo, na área de estudo (Netto, 1994; Buatois *et al.*, 2001, 2007). Flutuações nas taxas de salinidade e oxigenação, comuns em ambientes marginais marinhos, combinadas aos fatores físicos, resultam em ambientes fisiologicamente estressantes para diversos grupos animais endobentônicos, que deixam preservadas em suas estruturas as respostas às condições ambientais como reflexo de seu comportamento. A análise do conjunto da icnofauna, da forma como se organizam e seus vínculos faciológicos caracterizam as assinaturas icnológicas de uma sucessão e permite avaliar, de forma subjetiva, o impacto dos aspectos que controlam a distribuição dos organismos bentônicos nos diferentes meios. O reconhecimento das assinaturas icnológicas presentes nos depósitos da Formação Rio Bonito permitirá avaliar a influência desses fatores químicos no meio físico, contribuindo para o refinamento das interpretações paleoambientais e estratigráficas pré-existentes. Assim, esse trabalho objetiva definir as assinaturas icnológicas da sucessão sedimentar equivalente à Formação Rio Bonito no bloco central da jazida carbonífera do Iruí (Cachoeira do Sul, RS) e refinar as interpretações estratigráficas e paleoambientais a partir da análise integrada da sedimentologia e da icnologia dos depósitos em questão.

Materiais e Métodos

Para a descrição da icnofauna, foram utilizados testemunhos de 13 sondagens (IB-01-RS, IB-03-RS, IB-04-RS, IB-06-RS, IB-08-RS, IB-15-RS, IB-17-RS, IB-22-RS, IB-74-RS, IC-20-RS, IC-32-RS, IC-36-RS e IC-56-RS), amostrados no bloco central da jazida carbonífera do Iruí (município de Cachoeira do Sul, RS, coordenadas 6656000 a 6672000mN e 334000 a 356000mE), pertencentes ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 1982, 1987, 1988). Outros 18 conjuntos de testemunhos (IB-02-RS, IB-07-RS, IB-09-RS, IB-12-RS, IB-21-RS, IB-28-RS, IB-29-RS, IB-138-RS, IC-04-RS, IC-10-RS, IC-12-RS, IC-21-RS, IC-45-RS, IC-48-RS, CA-19-RS, CA-20-RS, CA-64-RS, CA-74-RS) (CPRM, 1980, 1981, 1987, 1988) foram utilizados apenas para a correlação dos depósitos.

A caracterização das icnofábricas levou em conta o tipo de estrutura biogênica (bioturbação), a icnodiversidade, o tamanho das escavações, os padrões de agrupamentos e a intensidade de ocorrência. Tais aspectos foram comparados a uma amostra de depósito marinho raso representativa de condições clímax da Formação Palermo em testemunhos de sondagem da mesma área de estudo (Netto & Gonzaga, 1985; Netto, 1994). A caracterização sedimentológica foi feita a partir das litofácies e associações de fácies descritas por Kern (2008), sintetizadas na Tabela 1. A camada de carvão Iruí Superior, que ocorre em todos os testemunhos descritos e possui ampla lateralidade horizontal, serviu de *datum* para a correlação dos depósitos.

Contexto geológico

A Bacia do Paraná é uma vasta região sedimentar da América do Sul, abrangendo porções territoriais do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai, com aproximadamente 1.500.000 km² (Milani, 1997), sendo uma das bacias sedimentares brasileiras mais importantes (Fig. 1). A bacia do Paraná surge, entre os episódios de evolução tectônica e paleogeográfica do supercontinente Gondwana, como uma extensa depressão intracratônica, preenchida com sedimentos paleozóicos, mesozóicos, lavas basálticas e, localmente, rochas cenozóicas (Rocha-Campos, 1967; Schneider *et al.*, 1974). A evolução de sua sedimentação também envolve uma complexa interação de fatores tectônicos, paleogeográficos e paleoclimáticos (Santos *et al.*, 1996).

Os depósitos permianos da sucessão sedimentar Rio Bonito/Palermo registram o evento de transgressão marinha que sucede o final do episódio glacial que afetou o supercontinente Gondwana durante o Carbonífero (Habekost, 1978, 1983; Lavina *et al.*, 1985; Lavina & Lopes, 1987; Lopes, 1995, Milani, 1997). Esses depósitos se estendem desde o norte-nordeste do Estado do Paraná até o sul-sudeste do Estado do Rio Grande do Sul (Aboarrage & Lopes, 1986; Milani, 1997; Fig. 2). No Rio Grande do Sul, se assentam sobre rochas do embasamento pré-

cambriano ou sobre depósitos da Formação Rio do Sul ao longo da maior parte da borda leste-sudeste da bacia, onde afloram, preferencialmente, nas minas de carvão a céu aberto existentes ao longo da BR-290 e zonas adjacentes.

A região da mina de carvão do Iruí (Fig. 1) tem sido alvo de diversos estudos focados na análise sedimentológica, icnológica e estratigráfica desses depósitos, tanto em superfície quanto em subsuperfície. Tais estudos evidenciam deposição preferencialmente em sistemas marginais-marinhos, incluindo zonas intertidais, lagunas, vales incisos, estuários, baías e plataformas deltaicas (Holz & Dias-Flor, 1984; Lavina *et al.*, 1985; Netto & Gonzaga, 1985; Lavina & Lopes, 1987; Netto, 1994; Lopes, 1995; Holz & Dias, 1998; Elias *et al.*, 2000; Lopes & Lavina, 2001; Buatois *et al.*, 2001, 2007). Conglomerados, arenitos muito finos a muito grossos, siltitos, argilitos/folhelhos e carvões caracterizam os depósitos da Formação Rio Bonito. São interpretados como de caráter continental para os intervalos basais a médios da unidade e gradam para um sistema litorâneo e de transição no topo. Arenitos muito finos a finos e siltitos fazem parte dos depósitos da Formação Palermo e representam sedimentação em condições marinhas (Schneider *et al.*, 1974; Lavina *et al.*, 1985; Lavina & Lopes, 1987; Holz, 1987; Lopes, 1990) (Fig. 3, 4).

Análise faciológica

Conglomerados, arenitos muito finos a muito grossos, siltitos, argilitos/folhelhos e carvões são litologias presentes na sucessão sedimentar estudada, e, em alguns casos na base da Formação Palermo. Seu empilhamento possui tendência granodecrescente, de modo geral, sendo formado por diversos pacotes menores de tendência variada (Fig. 3, 4).

As litofácies presentes nos depósitos estudados foram descritas por Kern (2008) e encontram-se sintetizadas na Tabela 1. Estas litofácies se organizam de forma a refletir um conjunto de diferentes associações de fácies, que caracterizam, da base para o topo, depósitos costeiros e marinhos rasos.

Depósitos costeiros

Caracterizam-se pela associação de fácies fluvial, de canais e barras de maré, de planície de marés, de pântanos e de baía estuarina.

A associação de fácies fluvial compreende as fácies de leque aluvial, de canal e barras fluviais, de leque de *crevasse* e de planície de inundação. A fácies de leque aluvial é composta pela litofácies Pg (Tabela 1), que ocorre essencialmente na base dos perfis (IB-01-RS, IB-04-RS, IB-06-RS, IC-32-RS, IC-20-RS), assentada sobre as rochas do embasamento e apresentam

espessuras de até 8 metros. Localmente, podem ocorrer na porção média da sucessão, formando delgadas camadas que se interdigitam com depósitos da fácies de planície de inundação (Fig. 3, 4). A fácies de canal e barra fluvial é composta pelas litofácies Ort e Ac1 (Tabela 1), esta última ocorrendo em camadas de espessuras variadas, desde centimétricas até métricas. Lateralmente, ocorrem intercaladas a depósitos da fácies de planície de inundação e/ou da fácies de planície de marés (Fig. 5). A fácies de leque de *crevasse* é caracterizada pela litofácies Ac2 (Tabela 1) e relaciona-se geneticamente à fácies de canais e barras fluviais (Fig. 6). Ambas ocorrem apenas nos depósitos do terço inferior da sucessão (seqüências A e B de Kern, 2008). A fácies de planície de inundação é caracterizada pela litofácies SiltArg (Tabela 1), de caráter essencialmente maciço e ocorrendo em camadas centimétricas a métricas entre os depósitos da associação de fácies de depósitos fluviais.

A bioturbação é incipiente na associação de fácies de depósitos fluviais, ocorrendo apenas na litofácies SiltArg. É representada pela icnofábrica simples de *Planolites*, presente no testemunho IB-04-RS (intervalo entre 278,30 e 277,50 m). O índice de bioturbação é baixo (BI 1-2) e as escavações mostram-se ligeiramente achatadas (Fig. 5).

A associação de fácies de canais e barras de maré compreende as litofácies Aq2 e SubAc (Tabela 1), que ocorrem, preferencialmente, nas porções intermediária e superior dos poços descritos (Fig. 7). Relaciona-se, geneticamente, às litofácies Aq1 e Ht. A associação de fácies de planície de marés compreende as litofácies SiltCarb, SubAc e Aq1 (Tabela 1), ocorrendo na porção mediana dos poços estudados (seqüências C e D de Kern, 2008) intercaladas a depósitos da associação de fácies de pântano e marinho raso (fácies de *foreshore* e de *shoreface* superior (Fig. 8, 9).

A associação de fácies de baía estuarina é representada pelas litofácies Ht e SiltArg (Tabela 1), onde dominam as litologias pelíticas sobre as arenosas (Fig. 3). Gretas de sinerese podem ocorrer localmente na litofácies Ht. A associação de fácies de pântano compreende as litofácies SiltArg, SiltCarb, Cv e Mrg (Tabela 1, Fig. 3), caracterizada pela ampla ocorrência lateral e pelo expressivo empilhamento vertical nas seqüências de base (seqüências A-C de Kern, 2008), e por compor a maior parte da porção mediana da seqüência sedimentar Rio Bonito na área de estudo (base da seqüência D de Kern, 2008). A litofácies Cv é a mais representativa na associação de fácies de pântano, atingindo espessuras de até 5 m no centro da área de estudo. Fragmentos de carvão e de restos vegetais e bioturbação são comuns nas SubAc, SiltArg e SiltCarb, além de compressões de plantas (*Glossopteris* sp.) nesta última (Fig. 9D).

As associações de fácies de canais e barras de marés, de planícies de marés, de baía estuarina e pantanosas caracterizam, conjuntamente, depósitos estuarinos. Esses depósitos apresentam-se em geral bioturbados, mostrando baixa a moderada icnodiversidade e grau de bioturbação baixo a moderado. Icnofábricas simples são comuns e *Thalassinoides* e *Palaeophycus* são os icnogêneros dominantes nas icnofábricas compostas. Ocorrem nesses

depósitos icnofábricas simples de *Chondrites* e *Ophiomorpha* e icnofábricas compostas dominadas por *Chondrites-Helminthopsis-Planolites*, *Helminthopsis*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Thalassinoides* e *Thalassinoides-Palaeophycus*.

A icnofábrica simples de *Chondrites* se caracteriza por apresentar trechos verticalizados a inclinados de escavações com ramificações dendríticas de diâmetros milimétricos. O índice de bioturbação é baixo (BI 1-2) e ocorre nas litofácies SiltCarb (testemunho IC-20-RS, entre 227,20 e 227,00 m) e SiltArg (testemunho IB-17-RS, entre 390,50 e 389,50, e entre 387,00 e 386,50 m), nas associações de fácies de planície de maré e associação de fácies de pântano.

A icnofábrica simples de *Ophiomorpha* se caracteriza pela ocorrência de escavações predominantemente verticais, de tamanho reduzido, cujos bordos são revestidos por pequenos *pellets* dispostos em um arranjo muito simples, ora delgado, ora mais espesso. Localmente, possui *Skolithos* como elemento acessório (Fig. 8, 9A). O índice de bioturbação é baixo (BI 1-2) e ocorre nas litofácies SubAc (testemunho IB-03-RS, entre 213,30 e 209,00 m) e Aq2 (testemunho IB-08-RS, entre 236,70 e 235,00 e entre 226,10 a 222,50 m; testemunho IB-15-RS, entre 287,00 e 285,00 m e entre 274,20 e 273,00 m; testemunho IC-32-RS, entre 159,50 e 159,00 m), compondo a associação de fácies de canais e barras de marés. Na litofácies Aq2 é comum a presença de rizobioturbação, preservada em palimpsesto sobre os depósitos contendo icnofábrica de *Ophiomorpha* (IB-15-RS).

A icnofábrica de *Chondrites-Helminthopsis-Planolites* é dominada por escavações representativas desses três icnogêneros (Fig. 9C), contendo *Thalassinoides*, *Rhizocorallium* e *Arenicolites* como icnogêneros acessórios. Caracteriza-se principalmente pelo tamanho reduzido das escavações e pelo índice baixo a moderado de bioturbação (BI 2-3). Ocorre exclusivamente na litofácies SiltArg (testemunho IB-01-RS, entre 204,00 e 203,50 m), na associação de fácies de pântano e de baía estuarina.

A icnofábrica composta de *Helminthopsis* (Fig. 9B) possui *Thalassinoides*, *Palaeophycus* e *Planolites* como icnogêneros acessórios. Apresenta índice de bioturbação baixo a moderado (BI 2-3) e, localmente, rizobioturbação. Nos depósitos estuarinos, ocorre exclusivamente na litofácies Ht (testemunhos IB-04-RS, entre 240,00 e 239,50 m; IB-22-RS, a 212,00) na associação de fácies de baía estuarina.

A icnofábrica composta de *Palaeophycus*, contém *Planolites* como icnogênero acessório (Fig. 9E). Possui índice de bioturbação baixo (BI 1-2) e, nesses depósitos, ocorre na litofácies Ht (testemunhos IB-01-RS, entre 160,00 a 159,00 m e a 155,30 m; IB-22-RS, entre 218,00 e 215,00 m e entre 215,10 a 215,00 m; IC-36-RS, entre 280,50 e 280,30 m e a 223,80 m; e IC-56-RS, entre 144,90 a 142,50 m) na associação de fácies de baía estuarina.

A icnofábrica composta de *Planolites*, contém *Taenidium* e *Palaeophycus* como icnogêneros acessórios, podendo mostrar-se monoespecífica em litofácies pelíticas, sugerindo redução de oxigênio (Tognoli & Netto, 2003). Possui índice de bioturbação baixo (BI 1-2) e

escavações com tamanhos reduzidos. Rizobioturbação pode ocorrer associada. Ocorre nas litofácies Aq1 (testemunhos IB-03-RS, a 237,30 m e IB-15-RS, entre 295,00 e 291,00 m), Ht (testemunho IB-01-RS, entre 160,00 a 159,00 m e 155,30 m; IB-22-RS, entre 263,00 e 262,70 m e entre 255,00 e 254,50 m; IB-74-RS, entre 123,70 e 123,20 m) e SiltArg (testemunhos IB-04-RS, entre 278,30 e 277,50 m; IB-06-RS, entre 211,00 e 210,60 m e entre 207,75 e 207,20 m; IB-08-RS, a 242,00 m; IB-74-RS, a 139,50 m, entre 127,00 e 126,50 m e entre 126,00 e 125,30 m), respectivamente nas associações de fácies de planícies de maré, de baía estuarina e de pântano.

A icnofábrica de *Thalassinoides* possui, localmente, *Conichnus*, *Gyrolithes* e *Rhizocorallium* como icnogêneros acessórios. Caracteriza-se por escavações com limites bem marcados e abruptos e preenchimento passivo por material mais grosso e diferente do que compõe a rocha matriz. Apresenta índice de bioturbação baixo (BI 1-2) e localmente moderado (BI 3-4) (testemunhos IB-04-RS e IC-20-RS). Ocorre nas litofácies de SiltArg (testemunhos IB-06-RS, entre 230,50-230,10 m e entre 207,75 e 207,20 m); SiltCarb (testemunhos IB-01-RS, entre 148,70 e 147,00 m; IB-03-RS, entre 204,60 e 200,20 m e entre 198,20 e 197,80 m; IB-06-RS, a 205,85 m; IB-08-RS, entre 222,50 e 222,00 m; IB-15-RS, entre 295,50 e 295,45 m; IB-22-RS, entre 206,70 e 206,30 m; IC-32-RS, entre 160,80 e 160,15 m; IC-20-RS, entre 201,00 e 198,30 m e IC-36-RS, entre 216,80 e 216,50 m); Ht (testemunhos IB-04-RS, entre 221,50 e 220,70 m; entre 216,00 e 215,00 m; e entre 213,50 a 212,50 m ; IB-06-RS, entre 204,00 e 203,70 m, a 203,30 m, entre 203,00 e 202,75 m e entre 202,75 e 202,30 m; IB-74-RS, entre 86,80 a 86,60 m; IC-20-RS, entre 196,70 e 196,60 m e entre 191,00 e 187,00 m, IC-32-RS, entre 159,00 e 157,80 m; IC-36-RS, entre 214,00 e 212,00 m; IC-56-RS, entre 129,30 e 128,80 m e entre 128,20 e 127,60 m), respectivamente nas associações de fácies de planície de marés, pântano e baía estuarina. Na litofácies SiltCarb, a icnofábrica composta de *Thalassinoides* se caracteriza pelo limite abrupto e pela ausência de revestimento nos bordos da escavação, sinalizando a presença de substratos pelíticos firmes (*firmgrounds*), além de baixo índice de bioturbação (BI 2) e tendência monoespecífica (Fig. 11A,B). Nas demais litofácies, mostra-se também representativa de substratos firmes, mas de granulometria ligeiramente mais grossa e grau de saturação em água (*stiffgrounds*). No testemunho IB-06-RS (entre 207,75 e 207,20 m), apesar de ocorrer na litofácies SiltArg, a icnofábrica também se mostra monoespecífica (Fig. 11E) e mostra índice de bioturbação baixo (BI 1-2), estando preservada em palimpsesto sobre a icnofábrica de *Planolites*. Preservação em palimpsesto também é observada na litofácies Ht, onde a icnofábrica composta de *Thalassinoides* retrabalha substratos contendo as icnofábricas compostas de *Thalassinoides-Palaeophycus* (Fig. 11D) e de *Cylindrichnus-Thalassinoides*.

A icnofábrica composta de *Thalassinoides-Palaeophycus* é dominada por escavações relacionadas a esses icnogêneros, contendo *Planolites*, *Teichichnus*, *Helminthopsis* como icnogêneros acessórios e raros *Rhizocorallium* (testemunho IB-15-RS) e *Rosselia* (testemunho

IC-20-RS). Possui índice de bioturbação em geral baixo (BI 1-2) e, localmente, moderado (BI 3-4) (testemunhos IB-04-RS; IB-06-RS; IB-15-RS; IC-20-RS). As escavações se caracterizam por apresentar tamanhos reduzidos e por *spreite* curtos e achatados em *Teichichnus* (testemunho IB-22-RS). Ocorre na litofácies Ht (testemunhos IB-01-RS, entre 205,00 a 204,00; IB-04-RS, entre 220,70 e 217,00 m e entre 212,50 e 208,00 m; IB-06-RS, entre 207,00 e 201 m; IC-20-RS, entre 205,50 e 205,00 m e entre 187,00 e 183,00 m; IB-15-RS, entre 259,00 e 256,00 m; IB-22-RS, entre 231,50 m e 228,50 m e entre 204,70 e 202,00 m; IC-32-RS, entre 153,60 e 144,65 m e 142,60 e 141,60 m e IC-36-RS, entre 215,60 e 214,80 m), na associação de fácies de baía estuarina. No testemunho IB-06-RS, a icnofábrica *Thalassinoides-Palaeophycus* ocorre ao longo de toda a litofácies Ht no topo da sucessão, mostrando BI 3-4, que se reduz para BI 1 em direção ao topo.

Depósitos marinhos

São caracterizados pela associação de fácies marinha rasa, que compreende as fácies de *foreshore*, *shoreface* superior, *shoreface* inferior e de transição ao *offshore*, que ocorrem, preferencialmente, no terço médio superior dos poços descritos.

A fácies de *foreshore* é composta pela litofácies Aq1 (Tabela 1, Fig. 8, 10A,B,C) e apresenta maior expressão nas sucessões depositadas acima da camada de carvão Iruí Superior. Relaciona-se geneticamente à litofácies Aq2, que compõe a fácies de *shoreface* superior, e dispõe-se lateralmente às litofácies Ht, SiltArg e SiltCarb, que compõem as fácies de planícies e de barras de marés. Fragmentos de carvão e restos vegetais são comuns na litofácies Aq2. Os depósitos de *shoreface* inferior são compostos predominantemente pela litofácies Aq3 (Tabela 1), que se intercala com a litofácies Ht presente em menor escala. Lateralmente, os depósitos de *shoreface* inferior aparecem intercalados às litofácies SiltArg, SiltCarb, Cv e Ht, características dos depósitos de baía estuarina, planície de maré e pântano. Geneticamente, se relacionam aos depósitos de transição ao *offshore*, representados pelas litofácies Aq4 e Ht (Tabela 1, Fig. 12). Estas litofácies ocorrem de forma intercalada nas porções superiores dos poços descritos da maioria dos testemunhos da sucessão sedimentar, sobrepondo as litofácies Aq1, Aq2 e Aq3 (depósitos de *shoreface*).

Os depósitos marinhos apresentam-se em geral bioturbados, mostrando icnodiversidade moderada a alta. *Thalassinoides* e *Palaeophycus* são os icnogêneros dominantes nas icnofábricas. Ocorrem nesses depósitos icnofábricas simples de *Macaronichnus* e icnofábricas compostas de *Cylindrichnus-Thalassinoides*, *Helminthopsis*, *Palaeophycus* e *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis*.

A icnofábrica simples de *Macaronichnus* se caracteriza pela densa ocorrência de escavações horizontais meandantes pouco espaçadas entre si, não ramificadas e sem apresentar

entrecruzamentos, com paredes compactadas e preenchimento diferente da rocha matriz (Fig. 10B,C). O índice de bioturbação é alto (BI 5). Ocorre nas litofácies Aq1 (testemunho IB-15-RS, entre 295,00 a 291,00 m; IB-06-RS, entre 230,10 e 229,50 m), que compõe a fácies de *foreshore*. Pode ocorrer preservação em palimpsesto da icnofábrica de *Ophiomorpha* (IB-15-RS: 295,00 e 294,50 m) e de marcas de raízes e/ou rizobioturbação (IB-15-RS: 291,20 e 291,00 m).

As demais icnofábricas preservadas são todas compostas e representam uma maior icnodiversidade se comparadas às icnofábricas compostas presentes nos depósitos costeiros.

A icnofábrica de *Helminthopsis* é dominada pelo mesmo icnogênero e contém *Thalassinoides*, *Palaeophycus* e *Planolites* como icnogêneros acessórios. Possui índice de bioturbação baixo (BI2-3). Ocorre nas litofácies Aq1 (testemunho IB-06-RS, entre 208,00 e 207,75 m, Fig. 9F), na fácies de *foreshore*. Rizobioturbação e fragmentos vegetais ocorrem associados localmente.

A icnofábrica de *Cylindrichnus-Thalassinoides* tem a participação acessória dos icnogêneros *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Skolithos* e *Teichichnus* (Fig. 8, 10A). Possui índice de bioturbação moderado (BI 2-4) e a presença de revestimento pelítico nos bordos das escavações é comum. Localmente, mostra-se empobrecida, com redução no tamanho das escavações. Os *Teichichnus* são diminutos e com *spreite* curtos (testemunhos IB-04-RS, IB-15-RS, IB-22-RS, IC-36-RS) e/ou com rizobioturbação associada (testemunho IB-15-RS, IB-22-RS). Ocorre na litofácies de Aq1 (testemunho IB-15-RS, entre 273,90 e 273,50 m e entre 273,00 e 272,80 m), compondo a fácies de *foreshore*; na litofácies Aq3 (testemunho IB-01-RS, entre 200,00 e 199,00 m), compondo a fácies de *shoreface* inferior, e na litofácies Ht (testemunhos IB-04-RS, entre 214,70 e 213,50 m; IB-22-RS, entre 200,40 e 200,15 m; IC-36-RS, entre 214,50 e 208,00 m), compondo a associação de fácies de transição ao *offshore*.

A icnofábrica composta de *Palaeophycus*, contém *Planolites* como icnogênero acessório. Possui índice de bioturbação baixo (BI 1-2) e ocorre na litofácies Aq3 (testemunhos IB-04-RS, a 234,80 m; IB-06-RS, entre 234,00 e 232,30 m) compondo a associação de fácies de transição ao *offshore*.

A icnofábrica composta de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* é dominada pelos dois primeiros icnogênêros, e *Helminthopsis* em menor proporção. *Asterosoma*, *Chondrites*, *Conichnus*, *Cylindrichnus*, *Gyrolithes*, *Ophiomorpha*, *Planolites*, *Rhizocorallium*, *Rosselia*, *Skolithos* e *Teichichnus* ocorrem como icnogêneros acessórios. Possui índice de bioturbação moderado a alto (BI 4-5) (Fig. 12) e localmente moderado a baixo (BI 2-3). Estruturas com *spreiten* aparecem com tamanho reduzidos (testemunhos IB-03-RS e IB-22-RS). Ocorre na litofácies Ht (testemunhos IB-03-RS, entre 200,00 e 197,30 m; IB-06-RS, entre 207,20 e 207,00 m; IB-08-RS, entre 222,00 e 218,30 m; IB-15-RS, entre 301,90 e 301,30 m e entre 259,50 e 256,00 m; IB-22-RS, entre 205,70 e 204,80 m; IB-74-RS, entre 87,00 e 86,80 m

e entre 86,60 e 85,00m; IC-20-RS, entre 196,60 e 191,00 m e entre 197,70 e 196,70 m; IC-32-RS, entre 159,00 e 156,35 m; IC-56-RS, entre 127,20 e 120,45 m), compondo a associação de fácies de transição ao *offshore*.

Análise das icnofábricas

Em geral, fatores como correntes de turbidez, salinidade, oxigenação, consistência do substrato e exposição subaérea são determinantes no controle da colonização de substratos inconsolidados por organismos bentônicos (e.g., Bromley & Ekdale *et al.*, 1984; Ekdale, 1984; Bromley, 1990, 1996; Beynon & Pemberton, 1992; Pemberton & Wightman, 1992; MacEachern *et al.*, 1992; Gingras *et al.*, 1994; Pemberton & Whightman, 1992; Martin, 2004; Mángano & Buatois, 2004; McIlroy, 2004; MacEachern *et al.*, 2007a,b,c). Assim, o padrão de bioturbação resultante costuma ser diagnóstico de tais condições, quando analisado no contexto da fácies ou da associação de fácies. As onze icnofábricas reconhecidas nos depósitos da sucessão sedimentar Rio Bonito fornecem importantes indícios para a análise da ação desses fatores numa escala de alta resolução.

Ambientes marginais-marinhos são ambientes ecologicamente estressantes para muitos organismos, devido às constantes variações nos fatores ecológicos que limitam sua distribuição. Aspectos químicos da água, como salinidade e oxigenação, e aspectos físicos, como turbidez e consistência do substrato, são fatores que influenciam nas características fisiológicas e morfológicas de uma icnocenose, refletindo-se diretamente no tamanho das escavações, no índice de bioturbação e na icnodiversidade (Ekdale, 1988; Beynon & Pemberton, 1992; Gingras *et al.*, 1999; 2007; Mángano & Buatois, 2004; Savrda & Nanson 2003; MacEachern *et al.*, 2007a,b,c). Assim, as icnofábricas presentes nos depósitos estudados que caracterizam fácies marginais-marinhas refletirão diretamente a influência desses fatores no meio físico, durante ou imediatamente após terem cessados os eventos de deposição, ou mesmo durante períodos de não deposição.

As flutuações nas taxas de salinidade geralmente ocorrem em águas salobras, representadas pela mistura de água doce e água salina (e.g., Perkins, 1974; Remane & Schlieper; 1971; Dalrymple *et al.*, 1992; Savrda & Nanson, 2003). O estresse causado por esse fenômeno afeta diretamente os organismos, reduzindo a biodiversidade e exigindo mudanças estratégicas nas populações (Fig. 13). As adaptações fisiológicas e etológicas necessárias para responder a esse estresse são muitas e organismos marinhos oportunistas que toleram a flutuação de salinidade, controlada pela osmo- e pela iônica-regulação, mostram-se mais aptos para a colonização desses ambientes de transição (Buatois *et al.*, 2005; MacEachern *et al.*, 2007a,b,c). Conseqüentemente, há um domínio de escavações de organismos marinhos, com uma menor quantidade de escavações de organismos eurialinos, transitórios ou *facies crossing* (Perkins,

1974). As altas taxas de mortalidade, a capacidade de rápida reprodução, o ciclo de vida curto e a jovem maturidade sexual indicam que o recrutamento juvenil é um reflexo das condições de sobrevivência impostas sobre a fauna, levando a uma redução do tamanho corporal dos organismos (Rees *et al.*, 1977; MacEachern *et al.*, 2007a,b,c). O oxigênio despendido para a manutenção do controle osmótico e iônico é minimizado também pela redução do tamanho corporal (Remane & Schlieper, 1971). Assim, as icnofábricas geradas em ambientes sujeitos a constantes flutuações de salinidade caracterizam-se pela baixa icnodiversidade, pela presença de assembléias marinhas empobrecidas, pelo predomínio de formas simples, pela presença de assembléias com tendência monoespecífica (dominadas por um ou dois icnogêneros) e escavações diminutas (Pemberton & Wightman, 1992; Bann & Fielding, 2004; Bann *et al.*, 2004; Buatois *et al.*, 2007; Gingras *et al.*, 2007; MacEachern *et al.*, 2007a,b). Nos depósitos estudados, as icnofábricas de *Chondrites*, *Chondrites-Helminopsis-Palaeophycus*, *Cylindrichnus-Thalassinoides*, *Helminopsis*, *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Thalassinoides*, e *Thalassinoides-Palaeophycus* são em maior ou menor escala, representativas dessas condições.

Em depósitos marinhos de transição *shoreface* inferior/*offshore*, icnofábricas com escavações bem desenvolvidas e ornamentadas indicam condições de salinidade estáveis, de polialinas a estenoalinas (Fig. 13), apresentando um maior incremento da icnodiversidade e um maior índice de bioturbação (BI 4-6) (Beynon & Pemberton, 1992; Mángano & Buatois, 2004; Buatois *et al.*, 2007; Gingras *et al.*, 2007). A icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminopsis* é a que melhor representa estas condições. Caracteriza-se por apresentar feições relacionadas a estruturas de habitação, alimentação e pastagem e pela combinação de habitação-alimentação, produzidas por organismos depositívoros e suspensívoros, a exemplo do que se observa nas icnofaunas de tempo bom (Beynon & Pemberton, 1992; Savrda & Nanson 2003; Buatois *et al.*, 2007). Além da icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminopsis*, as icnofábricas de *Cylindrichnus-Thalassinoides*, *Helminopsis*, *Palaeophycus* e *Macaronichnus* também ocorrem associadas a depósitos marinhos na área de estudo.

A deficiência de oxigênio é uma característica de ambientes marinhos profundos e/ou de ambientes protegidos da costa associados à deposição de sedimentos finos em condições de baixa energia (Gingras *et al.*, 2007), atingidos eventualmente por eventos de tempestades, descargas fluviais ou pelo alcance das marés (McIlroy, 2004). Como reflexo das baixas concentrações de oxigênio disponível, observa-se uma redução no tamanho das escavações e uma diminuição significativa da icnodiversidade (Rhoads & Morse, 1971; Savrda & Bottjer, 1989; Wignall, 1991). Suítes dominadas por escavações dos icnogêneros *Chondrites*, *Phycosiphon* e/ou *Planolites* são indicativas de condições de redução de oxigênio em ambientes salinos (Bromley & Ekdale, 1984; Martin, 2004; Gingras *et al.*, 2007). As baixas taxas de sedimentação propiciam a decantação da matéria orgânica em suspensão junto ao substrato,

debilitando assim sua oxigenação, devido ao processo de decomposição, abrindo uma janela para a colonização destes organismos oportunistas (Gingras *et al.*, 2007). Depósitos pelíticos indicativos de anoxia estão presentes em zonas protegidas da costa em condições restritas, podendo caracterizar zonas geradoras de turfeiras (litofácies Cv, Tabela 1) junto a áreas pantanosas ou planícies de maré (MacEachern *et al.*, 2007a,b,c). Em ambientes oligoalinos ou de água doce, entretanto, a avaliação de condições de baixa oxigenação a partir da icnofauna fica restrita à existência de uma icnodiversidade baixíssima e à presença do icnogênero *Planolites* em suíte monoespecífica (Tognolli & Netto, 2003), o único dos três icnogêneros previamente citados que ocorre em ambientes não-marinhos. A icnofábrica de *Planolites* presente na litofácies SiltArg (Fig. 5) presente na base da sucessão estudada e vinculada a depósitos de planícies de inundação é um exemplo disso. Trata-se de uma icnofábrica discreta e simples (monoespecífica), sugerindo atividade de alimentação de organismos vermiformes generalistas tróficos não seletivos. O baixo índice de bioturbação (BI 1-2) e o tamanho reduzido das escavações são respostas a condições de salinidade muito reduzida e de deficiência de oxigênio (Tognolli & Netto, 2003; Mángano & Buatois, 2004; Gingras *et al.*, 2007).

Altas taxas deposicionais são também condicionantes da fauna, sobretudo da fauna bentônica. As altas velocidades de correntes, os processos de turbidez e a sedimentação episódica limitam a colonização pela infauna, em especial por organismos filtradores (Buatois & Angriman, 1992; Ranger & Pemberton, 1992; Gingras *et al.*, 2007). Escavações verticais de habitação (e.g., *Arenicolites*, *Ophiomorpha*, *Skolithos*, *Cylindrichnus*), estruturas de equilíbrio (e.g., *Diplocraterion*) e escavações intraestratais de alimentação (e.g., *Macaronichnus*) são os elementos dominantes nas icnofábricas vinculadas a depósitos de alta energia (MacEachern *et al.*, 2007a,b,c). Nos depósitos estudados, a icnofábrica de *Ophiomorpha* mostra-se monoespecífica e é caracterizada por escavações verticais (Fig. 9A), cujos bordos são revestidos por pequenos *pellets* (Frey *et al.*, 1978; Pollard *et al.*, 1993). Ocorre em arenitos com estratificação cruzada acanalada, compondo a associação de fácies de canais e barras de maré. O baixo índice de bioturbação e o caráter monoespecífico da icnofábrica podem ser indicadores da alta energia dos depósitos ou mesmo também de uma alta frequência deposicional. Contudo, podem ser reflexo também de flutuações extremas de salinidade (Howard *et al.*, 1975). Em regime de macro marés, em função da velocidade das correntes, é registrada a migração das formas de leito, que geram dunas 2 e 3D (Dalrymple *et al.*, 1992). A alta energia do sistema associada à migração de dunas regula o estabelecimento e desenvolvimento da fauna bentônica, restringindo o registro por bioturbação de escavações verticais de organismos suspensívoros, dominantes em ambientes de submarés de alta energia (Wilson, 1982; Tognoli & Netto, 2003; Mángano & Buatois, 2004). Uma icnofábrica semelhante de *Ophiomorpha* foi descrita por Bromley (1990), que sugere colonização em um ambiente de alta energia, como barras estuarinas e canais de maré. Na icnofábrica de *Ophiomorpha*, pequenas escavações verticais de

Skolithos e rizobioturbação ocorrem associadas (Fig. 9A). Momentos de baixa sedimentação favorecem a bioturbação por estes organismos, que escavam através do sedimento abaixo da superfície de reativação (Pollard *et al.*, 1993) e eventualmente favorecem o desenvolvimento de vegetação higrófila e deposição de sedimentos mais finos entre os planos de estratificação.

Os depósitos marinhos de alta energia de *foreshore* abrigam a icnofábrica simples de *Macaronichnus*. É caracterizada pela ocorrência de escavações horizontais meandantes (Fig. 8, 10B,C). As escavações ocorrem de forma intensa, paralelas à laminação e representam atividade de organismos do meiobento que se alimentam de microdetritos e de bactérias (Pemberton *et al.*, 2001). O alto índice de bioturbação (BI 5) contrasta com a baixa icnodiversidade, reflexo da alta energia do meio (Pemberton *et al.*, 2001). A constante agitação de ondas da zona de intermarés e da zona de quebra-mar favorece a circulação de água salina para níveis mais profundos dos depósitos de areias, renova o teor de oxigênio e traz microorganismos e partículas de matéria orgânica para a água intersticial (Pemberton *et al.*, 2001; Bann *et al.*, 2004; Fielding *et al.*, 2007). Em geral, *Macaronichnus* é registrado em depósitos de ambientes de alta energia, como *shoreface* superior e *foreshore* (Pemberton *et al.*, 2001; Bann *et al.*, 2004; Fielding *et al.*, 2007). No testemunho de sondagem IB-15-RS, a icnofábrica de *Macaronichnus* ocorre preservada em palimpsesto sobre a icnofábrica de *Ophiomorpha* e rizobioturbação (Fig. 9A) sugerindo que os depósitos de *foreshore* migraram sobre barras em canais de maré (MacEachern & Pemberton, 1992; Pollard *et al.*, 1993).

Em ambientes de energia baixa a moderada, entretanto, a icnodiversidade e o índice de bioturbação aumentam, sendo maiores e mais estáveis em ambientes polialinos e estenoalinos, menores e altamente variáveis em ambientes mesoalinos e oligoalinos, e moderados e mais estáveis em ambientes de água doce (Pemberton & Wightman, 1992; Bromley, 1996; Buatois *et al.*, 2007). Nos depósitos estudados, as icnofábricas registradas na litofácies de heterolitos em depósitos costeiros de baía estuarina e em depósitos marinhos de transição *shoreface* inferior/*offshore* são um bom exemplo disso. A baixa icnodiversidade observada na icnofábrica de *Cylindrichnus-Thalassinoides*, a presença de *Teichichnus* com *spreiten* curtos e de escavações verticais de habitação de organismos suspensívoros (*Cylindrichnus*, *Ophiomorpha* e *Skolithos*) refletem a variabilidade do sistema, ora sujeito à ação de correntes mais intensas, ora experienciando momentos de calma, sob condições de águas mesoalinas sujeitas a flutuações de salinidade (Savrda & Nanson, 2003). Já a icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus* é dominada por escavações horizontais de organismos depositívoros e pastadores, refletindo o retrabalhamento da infauna no substrato durante períodos de menor energia, e possivelmente maior restrição na circulação de fundo (Savrda & Nanson, 2003).

O tipo de substrato é um dos fatores de maior controle na distribuição da icnofauna. As características do substrato, como consistência ou grau de consolidação podem gerar variações preservacionais distintas de um mesmo comportamento (Bromley, 1990, 1996; Mángano *et al.*,

1998; Buatois *et al.*, 2002). A maioria das icnofábricas reconhecidas na sucessão sedimentar Rio Bonito na área de estudo possui escavações geradas em substratos classificados entre os tipos *softground* (macios) e *stiffground* (firmes, mas ainda plásticos) (Bromley, 1996; Gingras *et al.* 2007). Somente a icnofábrica de *Thalassinoides* ocorre em substratos do tipo *firmground* (firme). A icnofábrica de *Thalassinoides* ocorre nos depósitos costeiros, geralmente associados às fácies de siltitos carbonosos (associação de fácies de planícies de marés e de pântano), siltitos argilosos (associação de fácies de pântano) e heterolitos (associação de fácies de baía estuarina). Dominam escavações horizontais de habitação de *Thalassinoides*, vinculadas a ambientes de baixa energia, com baixo índice de bioturbação (BI 2) (MacEachern & Burton, 2000; Lettley *et al.*, 2007). Caracteriza-se pelo limite abrupto e pela ausência de revestimento nos bordos da escavação, sinalizando a presença de substratos pelíticos firmes (*firmgrounds*), com preenchimento passivo por material mais grosso e diferente do que compõe a rocha matriz. A presença de *firmgrounds* implica na exposição subaérea do substrato pelítico, ou ainda, na prévia exumação de um substrato pelítico compactado (Fig. 14), ainda em condições subaquáticas, por eventos erosivos significativos que levam à sua exposição subaérea (Bromley, 1996; Lettley *et al.*, 2007). Estas características remetem a suítes típicas de Icnofácies Glossifungites, representativas da colonização desses substratos compactados por fauna marinha e posterior recobrimento do substrato por sedimentos trazidos por eventos episódicos significativos (Netto & Rossetti, 2003; Mángano & Buatois, 2004; Pemberton *et al.*, 2004; Gingras *et al.*, 2007). Nos depósitos estudados, é possível se observar preservação em palimpsesto da icnofábrica de *Thalassinoides* sobre as icnofábricas compostas de *Thalassinoides-Palaeophycus* (Fig. 11D) e de *Cylindrichnus-Thalassinoides*. A preservação em palimpsesto sugere uma sucessão de eventos de colonização, que caracterizam superfícies *time-averaged* e representam o retrabalhamento por diferentes icnocenoses tolerantes às constantes variações de ambientes instáveis (Pemberton & Wightman, 1992; Pemberton *et al.*, 2001; Mángano & Buatois, 2004).

Análise estratigráfica e assinaturas icnológicas

Fatores químico-físicos, como tipo de suprimento alimentar, consistência do substrato original, salinidade da água, oxigenação, temperatura e eventuais e rápidas exposições subaéreas do substrato, entre outros (Buatois *et al.*, 2002; MacEachern *et al.*, 2007a,b,c), em geral só podem ser identificados na análise de fácies sedimentar pela bioturbação. A presença de bioturbação nos depósitos que caracterizam cada fácies auxilia, portanto, no refinamento da sua interpretação, em especial nas análises em escala de alta resolução (e.g., Frey, 1975; Bromley, 1996; Pemberton *et al.*, 2001; Buatois *et al.*, 2002; MacEachern *et al.*, 2007a,b,c). Dessa forma, o padrão de ocorrência das icnofábricas presentes na sucessão Rio Bonito na área de estudo

permite refinar os processos atuantes quando da deposição das diferentes fácies sedimentares, permitindo um maior detalhamento dos processos envolvidos durante os ciclos transgressivos-regressivos que compõem a história deposicional dessa sucessão.

Distribuição estratigráfica das icnofábricas na sucessão

Em estudo paralelo, Kern (2008) reconheceu cinco seqüências de quarta ordem na sucessão estudada (seqüências A a E). Os depósitos das litofácies Pg, Ort, Ac1, Ac2 e SiltArg (Tabela 1) são dominantes na base da sucessão estudada (seqüências A a C) e caracterizam, preferencialmente, depósitos relacionados a canais e planícies de inundação (seqüências A, B e C de Kern, 2008). Apenas a litofácies SiltArg na seqüência B se mostra bioturbada, e mesmo assim, de forma muito pontual (testemunho IB-04-RS, Fig. 15; seções estratigráficas 3, 4, Fig. 18 e 19). O índice muito baixo de bioturbação (BI 1), o tamanho reduzido das escavações e a presença exclusiva de icnofábrica de *Planolites* são características diagnósticas de alto estresse ambiental, sugerindo condições oligoalinas ou de água doce e substrato pouco oxigenado.

Por sobre esses depósitos, assentam-se litofácies cujas associações caracterizam depósitos tipicamente costeiros, sujeitos a ingressões marinhas. Esses depósitos se estendem até o topo da Formação Rio Bonito, situado no terço superior da sucessão, na área de estudo (Fig. 21). A associação de fácies de pântanos se assenta diretamente por sobre os depósitos fluviais. Dominam os depósitos das litofácies SiltArg e SiltCarb (Tabela 1), presentes nas seqüências A, B e C de Kern (2008). Estes depósitos se mostram em geral ricos em fragmentos vegetais e rizobioturbação e a bioturbação ocorre pontualmente nas seqüências B e C. Os siltitos argilosos que compõem a seqüência B contêm icnofábrica de *Palaeophycus* (testemunho IC-36-RS, seção estratigráfica 3, Fig. 18), na base, e de *Chondrites* (testemunho IB-17-RS, seção estratigráfica 4, Fig. 19), na porção média da seqüência. Ambas apresentam um índice muito baixo de bioturbação (BI 1) e caráter monoespecífico, sugerindo extremo estresse ambiental. A presença de *Paleophycus* sugere águas de fundo relativamente bem oxigenadas, já que a escavação caracteriza domicílio permanente ou semi-permanente de organismo suspensívoro ou filtrador (Frey & Pemberton, 1984; Bromley, 1996; Buatois *et al.*, 2002). Contudo, nada se pode inferir acerca da salinidade, já que *Palaeophycus* é uma escavação comum em ambientes marinhos e não-marinhos. A presença de *Chondrites*, contudo, indica a presença de águas salinas, pelo menos mesoalinas, na região norte-nordeste da área de estudo. Ao contrário de *Palaeophycus*, sugere condições de anoxia do substrato, já que o produtor de *Chondrites* é considerado um organismo quimiossimbionte (Bromley & Ekdale, 1986; Savrda, 1992; Bromley, 1996; Gingras *et al.*, 2007). Tais características permitem interpretar os depósitos do testemunho IC-36-RS como representativos de zonas mais interiores dentro do sistema costeiro, possivelmente lagos ou lagunas rasas, enquanto que os do testemunho IB-17-RS como gerados em zonas mais

marinhas, como um ecossistema de manguezal. Na base das seqüências B e C, ocorrem depósitos da fácies de heterolitos contendo a icnofábrica de *Planolites* (testemunho IB-22-RS, seção estratigráfica 1, Fig. 16). A exemplo das icnofábricas anteriores, o índice de bioturbação é baixíssimo (BI 1) e as escavações mostram tamanhos reduzidos, sugerindo alto estresse ambiental causado pela extrema redução de salinidade, inferida pela ausência de *Chondrites*, e de oxigenação. Kern (2008) interpretou esses depósitos como representativos de baía estuarina. Contudo, o padrão extremamente pobre da icnofauna e a presença de depósitos de canais sotopostos na base da seqüência B, e de paleossolos, na base da seqüência C, sugerem corpos de água estagnados, possivelmente relacionados ao sistema fluvial ou fortemente influenciados pelo afluxo de água doce.

A icnofábrica de *Planolites*, com as mesmas características e, portanto, sugerindo as mesmas condições ambientais, é observada também na litofácies SiltArg intercalada a depósitos interpretados por Kern (2008) como de canais e barras fluviais e de barras de marés, na porção sudeste da área de estudo (testemunho IB-74-RS, seção estratigráfica 3, Fig. 18). Na porção norte, níveis delgados da litofácies SiltArg contendo a mesma icnofauna aparecem intercalados a depósitos mais expressivos de barras de maré (testemunho IB-15-RS, Fig. 7; seção estratigráfica 1, Fig. 16), revelando maior domínio dos processos marinhos e sugerindo a persistência de condições de água doce durante determinados períodos.

Espessos pacotes da litofácies SiltArg ocorrem na porção média da seqüência C, estando bem expressos no testemunho IB-08-RS (seções estratigráficas 2, 4, Fig. 17, 19). Estes pacotes contêm a icnofábrica de *Helminthopsis* mostrando as mesmas características observadas na icnofábrica de *Planolites*. Uma vez que *Helminthopsis* é uma trilha fecal simples de organismos vermiformes detritívoros ou saprofágicos (Bromley, 1996, Buatois *et al.*, 2002), pode ocorrer tanto em ambientes marinhos quanto não-marinhos. No entanto, a presença da icnofábrica de *Chondrites* no testemunho IC-20-RS (Fig. 20), no centro da área de estudo, sugere influência de salinidade e condições de anoxia no substrato, sugerindo áreas em contato maior com o mar.

Na porção oeste da área de estudo, contudo, a seqüência C apresenta uma maior icnodiversidade e intensidade de bioturbação, em comparação às demais áreas (seção estratigráfica 1, Fig. 16). Os depósitos mais basais da seqüência contêm a icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus*, que se caracteriza pelo baixo índice de bioturbação (BI 2), pelo tamanho reduzido das escavações e pela presença de uma baixa icnodiversidade, com domínio de escavações feitas por organismos essencialmente marinhos (testemunho IB-01-RS, seções estratigráficas 1, 4, Fig. 16, 19). As características da icnofauna refletem estresse ambiental, caracterizando condições de águas salobras (mesoalinas), possivelmente associadas a um contexto lagunar/estuarino. Essa icnofábrica dá lugar à icnofábrica de *Chondrites-Helminthopsis-Planolites*, que ocorre nos depósitos siltico-argilosos sobre (litofácies SiltArg, testemunho IB-

01-RS, seções estratigráficas 1, 4, Fig. 16, 19) e que, aparentemente, representa os depósitos mais profundos do mesmo corpo lagunar/estuarino que contém a icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus*. O índice de bioturbação é relativamente maior (BI 2-3), sugerindo uma maior estabilidade do meio, mas o tamanho reduzido das escavações se mantém, o que implica na manutenção das condições mesoalinas. A ocorrência exclusiva de escavações de organismos detritívoros/saprofágicos e quimiossimbiontes sugere baixas taxas de oxigenação do substrato e possíveis períodos de anoxia.

A presença de arenitos finos da litofácies Aq3 (Tabela 1) por sobre os depósitos anteriores marca um evento transgressivo, com o estabelecimento das fácies marinhas de *shoreface* inferior por sobre os depósitos costeiros. A icnofábrica de *Cylindrichnus-Thalassinoides* se faz presente na porção sudoeste da área de estudo (testemunho IB-01-RS, seções estratigráficas 1, 4, Fig. 16, 19) e mostra índice de bioturbação moderado (BI 3-4) e icnodiversidade baixa. Escavações de organismos de hábito suspensívoro são comuns, refletindo um ambiente de maior energia em relação aos depósitos anteriores, com predomínio de ação de correntes junto ao fundo. Contudo, as escavações ainda mostram tamanho reduzido e *spreiten* curtos em *Teichichnus*, sugerindo a presença de águas no máximo polialinas. Lateralmente a estes depósitos, na porção norte da área de estudo, ocorre a icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminopsis* (testemunho IB-15-RS, seção estratigráfica 1, Fig. 16), que é a mais diversa e a que apresenta o maior índice de bioturbação (BI 4-5) entre todas as icnofábricas registradas. Essa icnofábrica caracteriza uma icnofauna típica de *shoreface* inferior/transição ao *offshore* e representa a colonização do substrato durante períodos de tempo bom, entre eventos de tempestade. As condições de moderada a baixa energia reinantes nessa região durante esses períodos favorece a alta produtividade orgânica e abre janelas de colonização para todos os tipos tróficos, aumentando consideravelmente a diversidade da fauna endobêntica e intensificando o retrabalhamento do substrato. Esse padrão de colonização é próprio da Icnofácies Cruziana e é uma assinatura icnológica clássica de depósitos marinhos plataformais (Frey, 1975; Bromley, 1990, 1996; Pemberton *et al.*, 2001; Buatois *et al.*, 2002, 2007). Contudo, apesar do incremento na icnodiversidade e das escavações apresentarem-se mais ornamentadas e com tamanhos maiores na icnofábrica *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminopsis* presente na porção basal da seqüência C no testemunho IB-15-RS, o índice de bioturbação é moderado (BI 3-4), sugerindo domínio de águas polialinas, a exemplo do que foi observado no testemunho IB-01-RS.

Uma mudança significativa de fácies marca o estabelecimento de espessos pacotes da litofácies SiltArg por sobre os arenitos finos da litofácies Aq3 e depósitos heterolíticos associados (litofácies Ht). Os depósitos síltico-argilosos ricos em fragmentos vegetais dominam no restante da seqüência C na porção oeste da área de estudo e não possuem evidências de bioturbação, sugerindo uma queda do nível de base e uma maior influência de água doce, com a

retomada dos sistemas pantanosos relacionados a depósitos de canais e barras fluviais e/ou de marés e desenvolvimento local de paleossolos (seção estratigráfica 1, Fig. 16; Kern, 2008). Na porção norte (testemunho IB-15-RS), contudo, os depósitos marinhos rasos se mantêm, com acúmulo de arenitos finos a médios da litofácies Aq2, representativos de depósitos de *shoreface* superior, intercalados por depósitos siltico-argilosos da litofácies SiltCarb contendo icnofábrica mono-específica de *Thalassinoides* (testemunho IB-15-RS, seção estratigráfica 1, Fig. 16). O limite abrupto das escavações, sua pouca compactação e o preenchimento passivo das mesmas revela escavações feitas em substratos compactados firmes (*firmgrounds*) e a coloca num contexto de Icnofácies Glossifungites (Bromley, 1996; Pemberton *et al.*, 2001; Gingras *et al.*, 2007). A presença de siltitos argilosos contendo ocorrências de suíte de *Glossifungites* entre os depósitos arenosos da litofácies Aq2 sinaliza um período de rebaixamento do nível de base, onde as condições marginais marinhas são restabelecidas. O índice de bioturbação moderado (BI 4) indica um maior tempo para colonização e sugere o desenvolvimento de ambientes de supramaré, que são posteriormente recobertos por depósitos de *shoreface* superior, indicando o início de um novo ciclo transgressivo.

Por sobre os depósitos de *shoreface* superior assentam-se os arenitos finos a médios da litofácies Aq1 (Tabela 1), representativos de depósitos de *foreshore*. Esses depósitos contêm a icnofábrica de *Macaronichnus* (testemunho IB-15-RS, IB-06-RS; seção estratigráfica 1, Fig. 16), caracterizada pelo alto índice de bioturbação (BI 5) e pela presença exclusiva de escavações horizontais, resultante do retrabalhamento do substrato por organismos vermiformes detritívoros que se alimentam de restos orgânicos e bactérias em zonas profundas do substrato, em ambientes de maior energia (Pemberton *et al.*, 2001). A presença de icnofábrica de *Macaronichnus* é, pois, uma assinatura clássica de depósitos marinhos rasos de alta energia.

A porção superior da seqüência C na porção norte da área de estudo é marcada pelo estabelecimento de depósitos de canais e barras de marés, caracterizados pela intercalação das litofácies SubAc e SiltCarb. Os arenitos médios a grossos da litofácies SubAc contêm ocorrências pontuais da icnofábrica de *Ophiomorpha* (testemunho IB-15-RS; seção estratigráfica 1, Fig. 16). *Ophiomorpha* representa a atividade de crustáceos endobentônicos que escavam um sistema de túneis complexos à medida que a escavação avança (Frey *et al.*, 1978). Caracteriza-se por apresentar os bordos revestidos por *pellets* produzidos pelo animal a partir do material decantado e da adição de muco. Essa estratégia gera uma pré-cimentação dos bordos, auxiliando na manutenção da escavação, que deve permanecer aberta, para garantir o deslocamento do animal e a circulação de água no interior da galeria (Frey *et al.*, 1978; Bromley, 1996). Crustáceos decápodos talassinídeos e calianassídeos são os principais produtores de *Ophiomorpha* em depósitos meso-cenozóicos. Tratam-se de organismos marinhos que suportam flutuações de salinidade, que comumente invadem as zonas costeiras levados pelas correntes de marés, e são aparentemente, os únicos organismos que suportam o somatório

das condições de predomínio de moderada a alta energia e de flutuações de salinidade (Howard *et al.*, 1975). Em depósitos paleozóicos, contudo, as ocorrências de *Ophiomorpha* são mais escassas, e as galerias, menores e mais simples. O caráter peletado das paredes, contudo, se mantém, sugerindo a adoção das mesmas estratégias pelos produtores ancestrais. Assim, o índice de bioturbação baixo (BI 1-2) e a ocorrência exclusiva de *Ophiomorpha* nesta icnofábrica sugerem domínio de condições de moderada a alta energia e de flutuação de salinidade freqüente, situando os depósitos em zonas costeiras. Apesar de não detalhado neste estudo, observa-se também a ocorrência da icnofácies de *Ophiomorpha* na litofácies SubAc na porção oeste da área de estudo (testemunho IC-48-RS, seção estratigráfica 1, Fig.16).

À medida que se estabelecem depósitos de *foreshore* (litofácies Aq1) na porção norte da área de estudo (testemunho IB-15-RS, seção estratigráfica 1, Fig. 16), sistemas de canais e barras de maré passam a se desenvolver na porção oeste, onde antes se acumulavam depósitos de pântanos. A icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus* aparece associada a depósitos heterolíticos intercalados (testemunho IB-22-RS; seção estratigráfica 1, Fig. 16), apresentando as mesmas características previamente observadas nos depósitos heterolíticos presentes na base da seqüência C (testemunho IB-01-RS, seções estratigráficas 1, 4, Fig. 16, 19). Estes depósitos heterolíticos parecem representar períodos de menor energia dentro do sistema de canais e barras de maré, favorecendo uma colonização mais estável. Em direção ao topo da sucessão, observa-se a recorrência dos depósitos de supamaré (litofácies SiltArg) contendo icnofábrica de *Thalassinoides* em contexto de Icnofácies Glossifungites (testemunho IB-06-RS, seções estratigráficas 1, 2, 3, Fig. 16-18), e os depósitos de canais e barras de marés contendo a icnofábrica de *Ophiomorpha* (testemunho IB-15-RS, seção estratigráfica 1, Fig. 16), ambas apresentando as mesmas características observadas previamente.

O topo da seqüência C é caracterizado pela presença da icnofábrica de *Cylindrichnus-Thalassinoides* nos arenitos finos da litofácies Aq1 (depósitos de *foreshore*, Tabela 1), na porção norte da área de estudo (testemunho IB-15-RS, seção estratigráfica 1, Fig. 16). A manutenção das características da icnofábrica observadas na litofácies Aq3 na base da seqüência (testemunho IB-01-RS) e a alternância entre depósitos de *foreshore* e de canais e barras estuarinas no topo da sucessão nessa região reforçam o caráter marinho raso desses depósitos na porção norte da área de estudo, em relação à porção oeste, nesse tempo deposicional. A presença de depósitos de *foreshore* contendo icnofábrica de *Macaronichnus* no testemunho IB-06-RS (seção estratigráfica 1, Fig. 16) confirma esse caráter.

A camada de carvão Iruí Superior marca a base da seqüência D. Sobre ela, na porção leste da área de estudo, assentam-se depósitos heterolíticos de fina espessura (litofácies Ht) contendo icnofábrica de *Helminthopsis* (testemunho IB-04-RS, IB-22-RS, seções estratigráficas 1, 3, Fig. 16, 18) e depósitos siltico-argilosos (litofácies SiltArg) contendo icnofábrica de *Planolites* (testemunho IB-08-RS, seções estratigráficas 3, 4, Fig. 18, 19). A presença exclusiva

de trilhas fecais de organismos detritívoros/saprofágicos sugere ambientes com predomínio de baixa energia, ricos em matéria orgânica e de natureza disaeróbia a anaeróbia. O índice de bioturbação baixo a moderado (BI 1-3) e o caráter monoespecífico da icnofauna, contudo, remetem a situações estressantes, que podem ter sido causadas pela deficiência de oxigênio no substrato ou nas águas de fundo, por flutuações extremas de salinidade ou mesmo pelo estabelecimento de condições oligoalinas. A ausência de escavações feitas por organismos quimiossimbiontes (e.g., *Chondrites* e *Phycosiphon*) pode ser um reflexo do domínio de águas oligoalinas a doces, sugerindo depósitos de pântanos. Lateralmente, esses depósitos estão associados a depósitos pelíticos das litofácies SiltArg e SiltCarb, não bioturbados, o que reforça a hipótese acima.

Na porção sudeste da área de estudo, contudo, a ocorrência das icnofábricas de *Ophiomorpha*, *Thalassinoides* e *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* marca a presença de condições salobras a polialinas em depósitos das litofácies Aq2 e Ht compondo depósitos de canais e barras de marés e de baía estuarina. Os siltitos carbonosos que formam a base da seqüência D nessa região (testemunho IC-32-RS, seção estratigráfica 3, Fig. 18) contêm a icnofábrica de *Thalassinoides* em contexto de Icnofácies Glossifungites, sugerindo períodos de rebaixamento do nível de base e exposição do substrato pelítico da zona de supramaré, que é colonizado posteriormente por organismos marinhos, quando dos subseqüentes pulsos transgressivos. Os arenitos da litofácies Aq2 contendo a icnofábrica de *Ophiomorpha* aparecem sobrepostos ou intercalados aos siltitos carbonosos (testemunho IC-32-RS, seção estratigráfica 3, Fig. 18) representam os períodos de maior influência marinha, onde há domínio dos processos de maré de maior energia e, possivelmente, flutuações significativas na salinidade, a julgar pela ocorrência exclusiva de *Ophiomorpha* nessa icnofábrica. A ocorrência da icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* nos heterolitos que sucedem o pacote anterior marca o estabelecimento de condições marinhas. O índice de bioturbação moderado (BI 2-4), contudo, sugere condições ainda instáveis do meio, com domínio de águas polialinas. A presença da icnofábrica de *Thalassinoides* em contexto de Icnofácies Glossifungites nesses depósitos heterolíticos, preservada em palimpsesto sobre a icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* (seção estratigráfica 3, Fig. 18) sugere rebaixamento do nível de base e colonização em substratos do tipo *stiffground*, representando períodos de curta exposição e erosão do substrato (Lettley *et al.*, 2007). Reforça, ainda, as condições de instabilidade ecológica do meio refletida pela icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis*.

Uma superfície de ravinamento por ondas corta os depósitos carbonosos da base da seqüência, marcando o estabelecimento de um sistema marinho raso na maior parte da área de estudo (SRS5 de Kern, 2008; seções estratigráficas 1 a 4, Fig. 16-19). As litofácies arenosas dominam a seqüência na porção leste, intercalando-se a depósitos de marés na porção oeste. Esses depósitos mostram-se, em geral, pouco bioturbados, quando comparados com as mesmas

litofácies presentes na seqüência C. A ocorrência de icnofábricas é pontual e marcada pelo índice de bioturbação muito baixo (BI 1, predominantemente). Os arenitos da associação fácies de canais e barras de maré contêm a icnofábrica de *Ophiomorpha* no testemunho IB-08-RS (seções estratigráficas 2, 4, Fig. 17, 19) e os depósitos das litofácies SiltArg e Ht associados contêm as icnofábricas de *Palaeophycus* (testemunhos IB-04-RS, IB-22-RS, IC-36-RS), *Planolites* (testemunhos IB-01-RS, IB-06-RS) e *Thalassinoides-Palaeophycus* (testemunhos IB-15-RS, IC-20-RS, IC-32-RS). A maior energia dos depósitos parece ser o principal fator de controle na distribuição da icnofauna. Contudo, a escassez de traços fósseis nas litofácies representativas de menor energia sugere também a existência de estresse químico, possivelmente por flutuações extremas de salinidade, já que: (i) escavações de organismos oportunistas que suportam condições de forte disaerobia a anoxia não são observadas; (ii) depósitos costeiros de moderada a baixa energia dominados por marés e/ou ondas costumam ser meios relativamente mais estáveis e ocupados por fauna mesoalina endêmica, que possui hábito endobentônico em sua maioria, sendo comum a presença de bioturbação.

A presença da icnofábrica de *Helminthopsis* nos depósitos de marinhos de *foreshore* (litofácies Aq1), no topo da seqüência D (testemunho IB-06-RS, seções estratigráficas 1-3, Fig. 16-18) sugere períodos de redução da energia, permitindo a atividade de pastagem de detritos por organismos detritívoros/saprobílicos (Bromley, 1996, Buatois *et al.*, 2002), possivelmente durante períodos de maré baixa.

O topo da seqüência D é marcada pela ocorrência da icnofábrica de *Thalassinoides* em contexto de Icnofácies Glossifungites ao longo de praticamente toda a área de estudo (seção estratigráfica 4, Fig. 19). Representativa de colonização em substratos do tipo *firmground*, a icnofábrica ocorre na litofácies SiltCarb que se assenta, discordantemente, sobre os arenitos finos das associações de fácies de *shoreface*. Considerando que o desenvolvimento da icnofábrica de *Thalassinoides* em contexto de Icnofácies Glossifungites se dá em fácies costeiras e requer a ocorrência de eventos erosivos e subsequentes inundações marinhas (e.g., MacEachern *et al.*, 1992; Bromley, 1996; Pemberton *et al.*, 2001; Buatois *et al.*, 2002; MacEachern *et al.*, 2007a,b,c), pode se inferir a existência de uma superfície co-planar na base da seqüência E, reunindo pelo menos: (i) uma superfície de rebaixamento brusco de nível de base, que expõe até os depósitos de *shoreface* inferior e permite o estabelecimento dos depósitos de turfeiras; (ii) uma superfície transgressiva, que traz a fauna apta a escavar em substratos firmes, em contexto de supramaré; e (iii) uma superfície de ravinamento por ondas que erode os depósitos pelíticos e preenche as escavações. Essa ocorrência é um biomarcador de uma regressão forçada, estabelecendo um limite de seqüência de 3ª ordem entre as seqüências D e E (de 4ª ordem, Fig. 11), na área de estudo. Esta superfície também foi detectada por Netto (1994), Buatois *et al.* (2001, 2007) e Kern (2008) na mesma área.

Depósitos da litofácies de heterolito contendo a icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* com índice de bioturbação moderado a alto (BI 4-5) se assentam sobre os depósitos costeiros anteriores. Por ser representativa da Icnofácies Cruziana, essa icnofábrica marca o estabelecimento de condições ecológicas próprias de *shoreface* inferior/transição ao *offshore*. Sua presença, portanto, é um indicador de uma subida significativa do nível de base e do estabelecimento de condições marinhas francas. Contudo, o tamanho reduzido das escavações e o índice de bioturbação ligeiramente menor, se comparado com as icnofaunas marinhas rasas registradas por Netto & Gonzaga (1985), Netto (1994), Buatois *et al.* (2001, 2007) e Tognoli & Netto (2003) em sucessões da Formação Palermo, incluindo a área ora estudada, sugerem a presença de águas polialinas, e não estenoalinas. A hipótese da existência de águas menos salinas e de predomínio de corpos de águas costeiros (baías e lagunas) é reforçada pela presença das icnofábricas de *Thalassinoides-Palaeophycus* e de *Cylindrichnus-Thalassinoides*. Ambas icnofábricas apresentam índice de bioturbação moderado (BI 2-4) e são sugestivas de águas salobras nos mesmos depósitos heterolíticos que ocorrem lateralmente, e por sobre as ocorrências da icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis*. A freqüente intercalação com níveis pelíticos contendo a icnofábrica de *Thalassinoides* em contexto de Icnofácies Glossifungites reforça ainda mais essa hipótese. Assim, acredita-se que os heterolitos contendo icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* na seqüência E representem enseadas, onde as condições de moderada a baixa energia, a maior salinidade das águas e o predomínio da ação de ondas mimetizam as condições ecológicas esperadas na zona de *shoreface* inferior/transição ao *offshore*.

Assinaturas icnológicas

A distribuição das icnofábricas ao longo da sucessão estudada permitiu identificar um padrão de colonização do substrato próprio de sistemas de trato transgressivo, com predomínio de icnofaunas sugestivas de depósitos oligoalinos e de águas doces na base da sucessão e a paulatina substituição dessas icnofaunas por outras típicas de águas marinhas francas para o topo. Além disso, quatro assinaturas icnológicas principais puderam ser identificadas, representadas pelas ocorrências das icnofábricas de *Palaeophycus-Planolites-Helminthopsis* na litofácies SiltArg, de *Cylindrichnus-Thalassinoides* e de *Thalassinoides-Palaeophycus*, de *Thalassinoides* nas litofácies pelíticas (SiltCarb e SiltArg) e de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis*.

A presença das icnofábricas de *Palaeophycus*, de *Planolites* e de *Helminthopsis*, sempre em caráter monoespecífico e com baixo índice de bioturbação na litofácies SiltArg reflete

condições de extrema redução de salinidade (águas oligoalinas a doces) e baixa oxigenação, em corpos d'água estagnados em zonas mais interiorizadas dentro do sistema costeiro.

Presentes normalmente nas fácies arenosas finas (litofácies Aq 1 e Aq 3) e nos depósitos heterolíticos (litofácies Ht) das associações de fácies de *foreshore* e de baía estuarina, as icnofábricas de *Cylindrichnus-Thalassinoides* e *Thalassinoides-Palaeophycus* apresentam características próprias de suítes de Icnofácies Cruziana empobrecida (icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus*) e de Icnofácies mista Skolithos-Cruziana (icnofábrica de *Cylindrichnus-Thalassinoides*), que remetem, invariavelmente, para condições de águas mesoalinas, refletindo uma boa oxigenação do fundo e uma assinatura icnológica típica de águas mesoalinas (salobras). Enquanto a icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus*, dominada por estruturas de organismos detritívoros, indica meios mais estáveis e de menor energia, a icnofábrica de *Cylindrichnus-Thalassinoides*, que contém tanto estruturas de organismos detritívoros quanto de suspensívoros/filtradores revela meios mais energéticos, associados ao mesmo sistema.

A icnofábrica de *Thalassinoides*, em geral vinculada a siltitos carbonosos (litofácies SiltCarb), em contexto de Icnofácies Glossifungites, representa períodos de rebaixamento do nível de base, com exposição de substratos pelíticos previamente compactados. Esses substratos são inundados durante eventos transgressivos, momento no qual se dá a colonização pelos escavadores das galerias que caracterizam a icnofábrica, sendo, posteriormente, erodidos por eventos de ravinamento. São assinaturas típicas de limites de seqüência e superfícies transgressivas na sucessão estudada, em geral caracteriza uma assinatura de superfícies autocíclicas geradas pelos ciclos transgressivos-regressivos que normalmente afetam a costa. No caso da base da seqüência E, contudo, marca a presença de uma superfície alocíclica, que sugere um evento de regressão forçada, e por conseguinte a existência de um limite de seqüência que numa escala mais regional (escala de 3ª ordem).

As características da icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminopsis* presente na litofácies de heterolitos aproximam-na da Icnofácies de Cruziana arquetípica, fazendo dela a assinatura mais marinha de toda a sucessão e representativa de depósitos de tempo bom (*fairweather*), na zona de *shoreface* inferior/transição ao *offshore*. A moderada diversidade e o tamanho reduzido das escavações, porém, indicam colonização ainda sob influência de águas com salinidade inferior ao gradiente estenoalino, possivelmente polialinas.

Conclusões

A análise icnológica realizada na sucessão sedimentar que engloba os depósitos da Formação Rio Bonito no bloco central da jazida carbonífera do Iruí permitiu:

- (i) a identificação de quatro assinaturas icnológicas em trato de sistema transgressivo, representadas pelas icnofábricas de *Palaeophycus*, *Planolites* e *Helminthopsis* (domínio de águas oligoalinas a doces), de *Cylindrichnus-Thalassinoides* e *Thalassinoides-Palaeophycus* (domínio de águas mesoalinas), de *Thalassinoides* (domínio de eventos erosivos, com exumação e exposição temporária de pelitos compactados) e de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* (domínio de águas polialinas a estenoalinas);
- (ii) o reconhecimento de superfícies autocíclicas nos depósitos costeiros, relacionadas ao avanço do trato transgressivo, e de uma superfície alocíclica, que separa o conjunto de seqüências A-D da seqüência E;
- (iii) o reconhecimento de condições químicas da água (salinidade e oxigenação), que interferem na distribuição da fauna bentônica e que se refletem no padrão das icnofábricas. Tais informações, acrescidas à análise dos parâmetros físicos, permitiram refinar a interpretação dos sistemas deposicionais;
- (iii) confirmar a relevância da análise integrada da sedimentologia e da icnologia de sucessões sedimentares ricas em icnofósseis para o refinamento das interpretações estratigráficas e paleoambientais, em estudos estratigráficos de alta resolução.

Agradecimentos

Este trabalho é parte do projeto “Icnologia e Estratigrafia: subsídios para estudos de alta resolução. Fase II” e compõe parte dos estudos “Assinaturas icnológicas em ambientes transicionais e marinhos rasos: caracterização e aplicação na análise de fácies deposicionais”, subsidiado pelo CNPq (processo 479457/2007-7). Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio e pela bolsa de produtividade em pesquisa de RGN (processo 303041/2007-2) e de ELCL (processo 305075/2007-1); à CPRM – Serviço Geológico do Brasil, pela cedência dos testemunhos de sondagem e dos dados das pastas de poços utilizados neste estudo; à CAPES, pelas bolsas de mestrado de RG e HPK e pela infratestrutura de apoio (Pró-equipamentos 1675/2007); a D.R. Boardman, pela revisão das referências; a R.C.Lopes e G.Fauth, pela revisão crítica do manuscrito.

Referências bibliográficas

- Aboarrage, A.M. & Lopes, R.C. 1986. *Projeto a Borda Leste da bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica*. Porto Alegre, CPRM, 18 v.
- Bann, K.L. & Fielding, C.R. 2004. An integrated ichnological and sedimentological comparison of non-deltaic shoreface and subaqueous delta deposits in Permian reservoir units of Australia. In: D. McIlroy (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society of London, London, Special Publication, **228**:273-310.
- Bann, K.L., Fielding, C.R., MacEachern, J.A. & Tye, S.C. 2004. Differentiation of estuarine and offshore marine deposits using integrated ichnology and sedimentology: Permian Pebbley Beach Formation, Sydney Basin, Australia. In: D. McIlroy (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society of London, London, Special Publication, **228**:179-211.
- Beynon, B.M. & Pemberton, S.G. 1992. Ichnological signature of a brackish water deposit: an example from the Lower Cretaceous Grand Rapids Formation, Cold Lake Oil Sands Area, Alberta. In: S.G. Pemberton (ed.) *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration, a core workshop*, SEPM Core Workshop, Calgary, **17**:199-221.
- Bromley, R.G. 1990. Trace fossils. Biology and taphonomy. Unwin Hyman, Londres, 280p.
- Bromley, R.G. 1996. Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications, second edition: Chapman and Hall, London, 361p.
- Bromley, R.G. & Ekdale, A.A. 1984. *Chondrites*: a trace fossil indicator of anoxia in sediments. *Science*, **224**:872-874.
- Bromley, R.G. & Ekdale, A.A. 1986. Composite ichnofacies and tiering of burrows. *Geological Magazine*, **123**: 59-65.
- Buatois, L.A. & Angriman, O.L. 1992. The ichnology of a submarine braided channel complex: the Whisky Bay Formation of James Ross Island, Antarctica, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **94**,119-140.
- Buatois, L.A., Netto, R.G. & Mángano, M.G. 2001. Paleoenvironmental and sequence-stratigraphic analyses of lower permian marginal - to shallow marine coal bearing successions of the Paraná Basin in Rio Grande do Sul, Brazil, based on ichnological data. In: J.H.G. Melo & G.J.S. Terra (eds.), *Correlação de Sequências Paleozóicas Sul-Americanas*, Ciência-Técnica-Petróleo, 20.
- Buatois, L.A., Mángano, G. & Aceñolaza, F. 2002. Trazas fósiles. Señales de comportamiento en El registro estratigráfico. Museu Paleontológico Egidio Feruglio, Buenos Aires, Argentina, 382p.
- Buatois, L.A., Netto, R.G. & Mángano, G. 2007. Ichnology of Permian marginal- to shallow-marine coal-bearing successions: Rio Bonito and Palermo Formations, Paraná Basin, Brazil. In: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:167-177.
- Buatois, L.A., Gringras, M.K., MacEachern, J., Mángano, M.G., Zonneveld, J.P., Pemberton, S.G., Netto R.G., & Martin, A.J. 2005. Colonization of brackish-water systems through time: Evidence from the trace-fossil record. *Palaios*, v.20.

- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1980. Projeto Iruí-Butiá Bloco Iruí Carvão Mineral: relatório final de pesquisa, áreas B-36, B-37, C-3, C-4, C-5, C-6, C-9, C-10, C-11. Porto Alegre, 2v.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1981. Projeto Iruí-Butiá Bloco Bexiga: relatório final de pesquisa, áreas G-01 a G-03. Porto Alegre, 1v.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1982. Projeto Iruí-Butiá Bloco Capão da Várzea: relatório final de pesquisa, áreas B-01 a B-03, B-07 a B-09, B-13 a B-22 e B-35. Porto Alegre, 4v.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1987. Projeto Iruí-Butiá Bloco Iruí Área Capão das Pombas Sul: relatório final de pesquisa, áreas RS-33 a RS-37. Porto Alegre, 1v.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1988. Projeto Iruí-Butiá Bloco Iruí Área Capão das Pombas: relatório final de pesquisa, áreas RS-01, RS-45, RS-46 e RS-49. Porto Alegre, 1v.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2001. Mapa geológico do Brasil. Escala 1:5.000.000. Brasília, Ministério de Minas e Energia, CD-Rom.
- Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A. & Boyd, R. 1992. Estuarine facies models: conceptual, basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, **62**(6):1130-1146.
- Ekdale, A.A. 1988. Pitfalls of paleobathymetric interpretations based on trace fossil assemblages. *Palaaios*, **3**:464-472.
- Ekdale, A.A., Bromley, R.G. & Pemberton, S.G. 1984. *Ichnology. The use of trace fossils in sedimentology and stratigraphy*. SEPM, Tulsa, Oklahoma, 371p.
- Elias, A.D.D., Garcia, A.J. & Lavina, E.L. 2000. Arcabouço Cronoestratigráfico do Eopermiano da bacia do Paraná na região Centro-Oeste do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, **27**(2):31-44.
- Fielding, C.R., Bann, K.L. & Trueman, J.D. 2007. Resolving the architecture of a complex, low-accommodation unit using high-resolution sequence stratigraphy and ichnology: the late Permian Freitag Formation in the Denison Trough, Queensland, Australia. In: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:179-208.
- Frey, R.W. 1975. *The study of trace fossils*. Springer-Verlag, New York, 562 p.
- Frey, R. & Pemberton, S. G. 1984. Trace fossils facies models. In: R.G. Walker (ed.). *Facies models*. Geoscience Canada, Reprint Series, Alberta, **1/2**:189-207.
- Frey, R.W. Howard, J.D. & Pryor, W.A. 1978. *Ophiomorpha*: its morphologic, taxonomic and environmental significance. *Palaogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, **23**:199-229.
- Gingras, M.K., Pemberton S.G., Saunders, T. & Clifton, H.E. 1999. The icnology of Modern and Pleistocene Brackish-water deposits at Willapa Bay, Washington: Variability in estuarine settings. *Palaaios*, **14**:352-374.
- Gingras, M.K., Bann, K.L., MacEachern, J.A. & Pemberton, S.G. 2007. A conceptual framework for the application of trace fossils. In: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:1-26.
- Habekost, N.T. 1978. Paleoambientes da Formação Palermo no Sudeste do Estado de Santa Catarina - Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia*, São Leopoldo, **4**:4-177.
- Habekost, N.T. 1983. Paleoambientes da Formação Palermo na Região Central do Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia*, São Leopoldo, **7**(16):43-114.

- Howard, J.D., Elders, C.A. & Heinbokel, J.F. 1975. Animal-sediment relationships in estuarine point bar deposits, Ogeechee River-Ossabaw Sound, Senckenbergiana Maritima, **7**:181-203.
- Holz, M. 1987. Leques aluviais – faciologia e ocorrência em sedimentitos do Superrgrupo Tubarão (Eo-Permiano) da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, **25**:65-104.
- Holz, M. 2003. Sequence stratigraphy of a lagoonal estuarine system – an example from the lower Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, **167**: 305-331.
- Holz, M., Dias-Flor, M.A. 1984. Análise estratigráfica da Formação Rio Bonito (Permiano Inferior) na área de Cachoeira do Sul. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, *Anais*, Rio de Janeiro, p. 993-1006.
- Holz, M. & Dias, M.E. 1998. Taphonomy of palynological records in a sequence stratigraphy framework: an example of the Eo-Permian from the Paraná Basin of Southern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **99**:217-233.
- Kern, H.P. 2008. Arquitetura Estratigráfica de Corpos Arenosos Gerados por Ondas e Marés no Bloco Central da Mina de Iruí (Formação Rio Bonito, Eopermiano da Bacia do Paraná, RS). Dissertação de Mestrado. PPGeo Unisinos, São Leopoldo, 145 p.
- Lavina, E.L.C. & Lopes, R. da C. 1987. A Transgressão Marinha do Permiano Inferior e a Evolução Paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul. *Paula-Coutiana*, Porto Alegre, **1**:51-103.
- Lavina, E.L.C., Nowatzki, C.H., Santos, M.A.A. dos, Leão, H.Z. 1985. Ambientes de sedimentação do Super-Grupo Tubarão na Região de Cachoeira do Sul, RS. *Acta Geologica Leopoldensia*, São Leopoldo, **9** (21):5-75.
- Lettley, C.D., Gingras, M.K., Pearson, N.J. & Pemberton, G. 2007. Burrowed stiffground on estuarine point bars: modern and ancient examples, and criteria for their discrimination from firmgrounds developed along omission surfaces. *In*: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:325-333.
- Lopes, R.C. 1990. Estudo paleoambiental da Formação Rio Bonito na Jazida do Leão – RS. Uma análise inicial. *Acta geológica leopoldensia*, São Leopoldo, **31**:91-112.
- Lopes, R.C. 1995. Arcabouço Aloestratigráfico para o Intervalo Rio Bonito- Palermo. (Eopermiano da Bacia do Paraná), entre Butiá e São Sepé; Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 254 p.
- Lopes, R.C. & Lavina, E.L.C. 2001. Estratigrafia de seqüências nas formações Rio Bonito e Palermo (Bacia do Paraná), na região carbonífera do Baixo Jacuí, Rio Grande do Sul. *In*: H.J.P.S. Severiano Ribeiro (ed.). *Estratigrafia de seqüências: fundamentos e aplicações*. Unisinos, São Leopoldo, p. 391-419.
- MacEachern, J.A. & Burton, J.A. 2000. Firmground *Zoophycos* in the Lower Cretaceous Viking Formation, Alberta: a distal expression of the *Glossifungites* ichnofacies: Palaios, **16**:387-398.
- MacEachern, J.A. & Pemberton, S.G. 1992. Ichnological aspects of Cretaceous shoreface successions and shoreface variability in the Western Interior Seaway of North America. *In*: S.G. Pemberton (ed.),

- Applications of icnology to petroleum exploration – A core workshop. Society of Economic Paleontologist and Mineralogist, Core Workshop, **17**:57-84.
- MacEachern, J.A., Raychaudhuri, I. & Pemberton, S.G. 1992. Stratigraphic applications of the *Glossifungites* ichnofacies: delineating discontinuities in the rock record. *In*: S.G. Pemberton (ed.), Applications of icnology to petroleum exploration – A core workshop. Society of Economic Paleontologist and Mineralogist, Core Workshop, **17**:169-198.
- MacEachern, J.A., Bann, K.L., Pemberton, S.G. & Gingras, M.K. 2007a. The ichnofacies paradigm: high-resolution palaeoenvironmental interpretation of the rock record. *In*: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:27-64.
- MacEachern, J.A., Gingras, M.K., Bann, K.L., Pemberton, S.G. & Reich, L.T. 2007b. Applications of icnology to high-resolution genetic stratigraphic paradigms. *In*: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:95-129.
- MacEachern, J.A., Pemberton, S.G., Bann, K.L. & Gingras, M.K. 2007c. Departures from the archetypal ichnofacies: effective recognition of physic-chemical stresses in the rock record. *In*: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:65-93.
- Mángano, M.G. & Buatois, L.A. 2004. Ichnology of Carboniferous tide-influenced environments and tidal flat variability in the North American Midcontinent. *In*: D. McIlroy (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society of London, London, Special Publication, **228**:157-178.
- Mángano, M.G., Buatois, L.A., West, R.R. & Maples, C.G. 1998. Contrasting behavioral and feeding strategies recorded by tidal-flat bivalve trace fossils from the Upper Carboniferous of eastern Kansas. *Palaaios*, **13**:335-351.
- Martin, K.D. 2004. A re-evaluation of the relationship between trace fossils and dysoxia. *In*: McIlroy D. (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society of London, London, Special Publication, **228**:141-156.
- McIlroy, D. 2004. Ichnofabrics and sedimentary facies of a tide-dominated delta: Jurassic Ile Formation Field, Haltenbanken, Offshore Mid-Norway. *In*: D. McIlroy (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society of London, London, Special Publication, **228**:237-272.
- Milani, E.J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental*. Porto Alegre - RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2v., 255p. Tese de Doutorado.
- Netto, R.G. 1994. A Paleoicnologia como ferramenta de trabalho na sequencia sedimentar Rio Bonito/Palermo. Tese de Doutorado, UFRGS, Porto Alegre, 2v. 272p.
- Netto, R.G. 2001. Paleoicnologia do Rio Grande do Sul. *In*: M. Holz e L.F. De Ros (eds.) *Estratigrafia de Sequências*. Ed. UNISINOS, São Leopoldo, p. 219-259.
- Netto, R.G. & Gonzaga, T.D. 1985. Paleoicnologia do Grupo Guatá (Supergrupo Tubarão) nos Sedimentitos da Mina do Iruí, Cachoeira do Sul, RS. *Acta Geologica Leopoldensia*, **21**:77-102.

- Netto, R.G., Santos, M.A.A., Nowatzki, C.H. 1991. Permian trace fossils from estuarine sequences at Rio Grande do Sul State, Brazil. *In: IGCPGS, International Congress on Carboniferous and Permian Geology and Stratigraphy*, 13, *Abstracts*, Buenos Aires, **1**:98v.
- Netto, R.G. & Rossetti, D.F. 2003. Ichnology and salinity fluctuations: a case study from the early Miocene (lower Barreiras Formation) of São Luís Basin, Maranhão, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **6**:5-18.
- Pemberton, S.G. & Wightman, D.M. 1992. Ichnological characteristics of brackish water deposits. *In: Pemberton S.G. (ed.) Applications of ichnology to petroleum exploration, a core workshop*, SEPM Core Workshop, Calgary, **17**:141-167.
- Pemberton, S.G., Spila, M., Pulham, A.J., Saunders, T., MacEachern, J.A., Robbins, D., Sinclair I.K. 2001. *Ichnology & sedimentology of shallow to marginal marine systems: Ben Nevis & Avalon reservoirs, Jeanne D'Arc Basin*, Geological Association of Canada, Short Course **15**, 343 p.
- Pemberton, S.G., MacEachern, J.A. & Saunders, T.D.A 2004 Stratigraphic applications of substrate-specific ichnofacies: delineating discontinuities in the rock record. *In: McIlroy, D. (ed.), The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis*, Geological Society of London, London, Special Publication, **228**:29-62
- Perkins, E.J. 1974. *The biology of estuaries and coastal waters*: Academic Press, London, 678 p.
- Pollard, J.E., Goldring R. & Buck, S.G. 1993. Ichnofabrics containing *Ophiomorpha*: significance in shallow-water facies interpretation. *Journal of the Geological Society*, London, **150**:149-164.
- Ranger, M.J. & Pemberton, S.G. 1992. The sedimentology and ichnology of estuarine point bars in the McMurray Formation of the Athabasca Oil Sands Deposit, northeastern Alberta, Canada. *In: Pemberton S.G. (ed.) Applications of Ichnology to Petroleum Exploration, a core workshop*, Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists, Core Workshop, **17**:401-421.
- Rees, E.I.S., Nicholaidou, A. & Laskeridou, P. 1977. The effects of storms on the dynamics of shallow water benthic associations. *In: Keegan, B.F., Ceidigh, P.O. & Boaden, P.J. (eds.) Biology of benthic organisms*, Oxford, Pergamon Press, p. 465-474.
- Remane, H.E. & Schlieper, C. 1971. *Biology of brackish water*. Wiley, New York, 372p.
- Rhoads, D.C. & Morse, J.W. 1971. Evolutionary and ecologic significance of oxygen-deficient marine basins. *Lethaia*, **4**:413-428.
- Rocha-Campos, A.C. 1967. The Tubarão Group in the Brazilian portion of Paraná basin. *In: J.J. Bigarella, R.D. Becker & I.D. Pinto (eds.) Problems in the Brazilian Gondwana geology*. International Symposium on the Gondwana Stratigraphy and Paleontology, Curitiba, **1**:27-95.
- Savrda, C.E. 1992. Trace fossils and benthic oxygenation. *In: Maples, C.G., and West, R.R., eds. Trace Fossils: Paleontological Society, Short Course 5*, p.172-196.
- Savrda, C.E. & Bottjer, D.J. 1989. Trace fossil model for reconstructing oxygenation histories of ancient marine bottom waters: application to Upper Cretaceous Niobrara Formation, Colorado. *Palaeogeographic, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **74**:49-74.
- Savrda, C.E. & Nanson, L.L. 2003. Ichnology of fair-weather and storm deposits in an Upper Cretaceous estuary (Eutaw Formation, western Georgia, USA). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **202**:67-83.

- Santos, P.R., Campos, A.C. & Canuto, J.R. 1996. Patterns of late Paleozoic deglaciation in the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **125**:165-184.
- Schneider, R.L., Mühlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R., Daemon, R.F., Nogueira, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da bacia do Paraná. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 28, *Anais*, Porto Alegre, **1**:41-65.
- Seilacher, A. 1964. Biogenic sedimentary structures. *In*: J. Imbrie & N.D. Newell (ed.), *Approaches to paleoecology*, John Wiley & Sons, New York, p. 296-316.
- Seilacher, A. 1967. Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology*, **5**:413-428.
- Tognoli, F.M.W. 2002. Análise estratigráfica e paleoicnologia do Grupo Guatá no leste paranaense. Dissertação de Mestrado, UNESP/IGCE, Rio Claro, 90p.
- Tognoli, F.M.W. & Netto, R.G. 2003. Ichnological signature of Paleozoic estuarine deposits from the Rio Bonito-Palermo succession, eastern Paraná basin, Brazil. *Asociación Paleontológica Argentina. Publicación Especial 9*. Buenos Aires, p. 141-155.
- Wignall, P.B. 1991. Dysaerobic trace fossils and ichnofabrics in the Upper Jurassic Kimmeridge Clay of southern England. *Palaios*, **6**:264-270.
- Wilson, J. B. 1982. Shelly faunas associated with temperate offshore tidal deposits. *In*: A.H. Stride(Ed.). *Offshore Tidal Sands: Processes and Deposits*. Chapman & Hall, New York, 126-171.

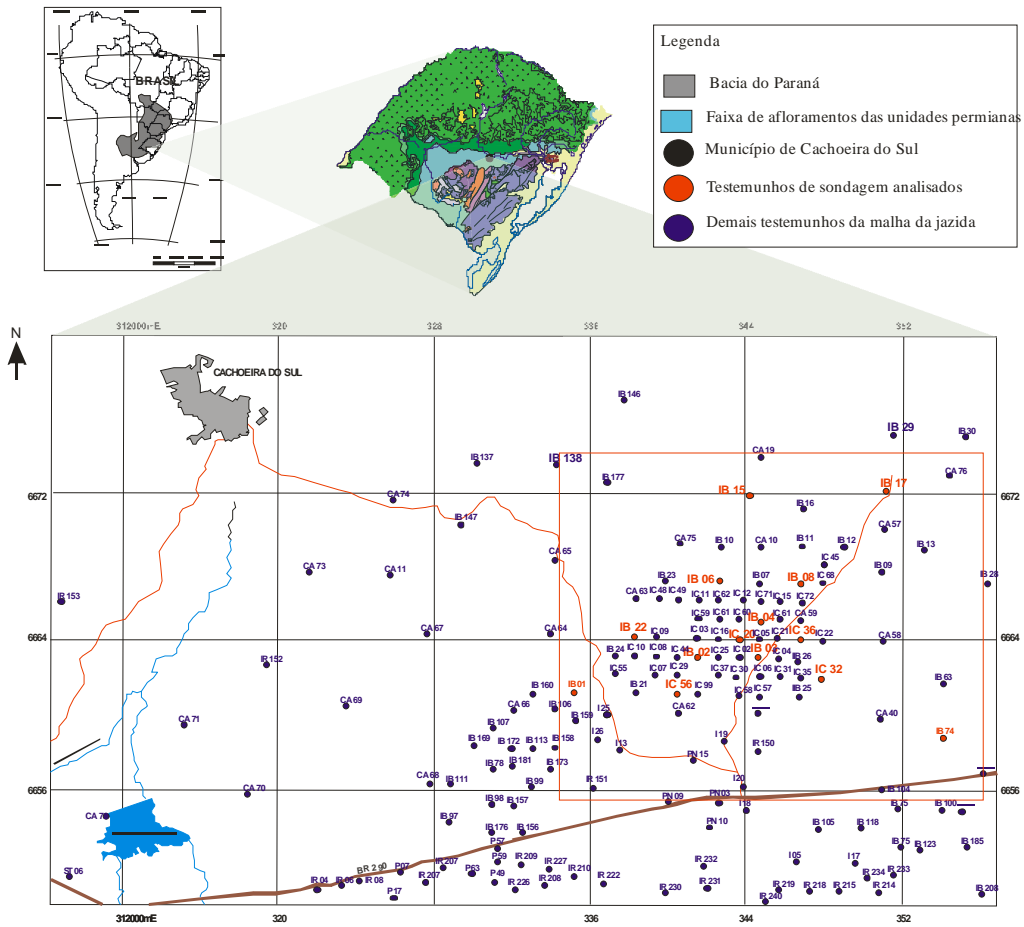


Figura 1. Localização da área de estudo dentro da faixa de afloramentos permianos da Bacia do Paraná Rio Grande do Sul (modificado de Kern, 2008) e CPRM (2001).

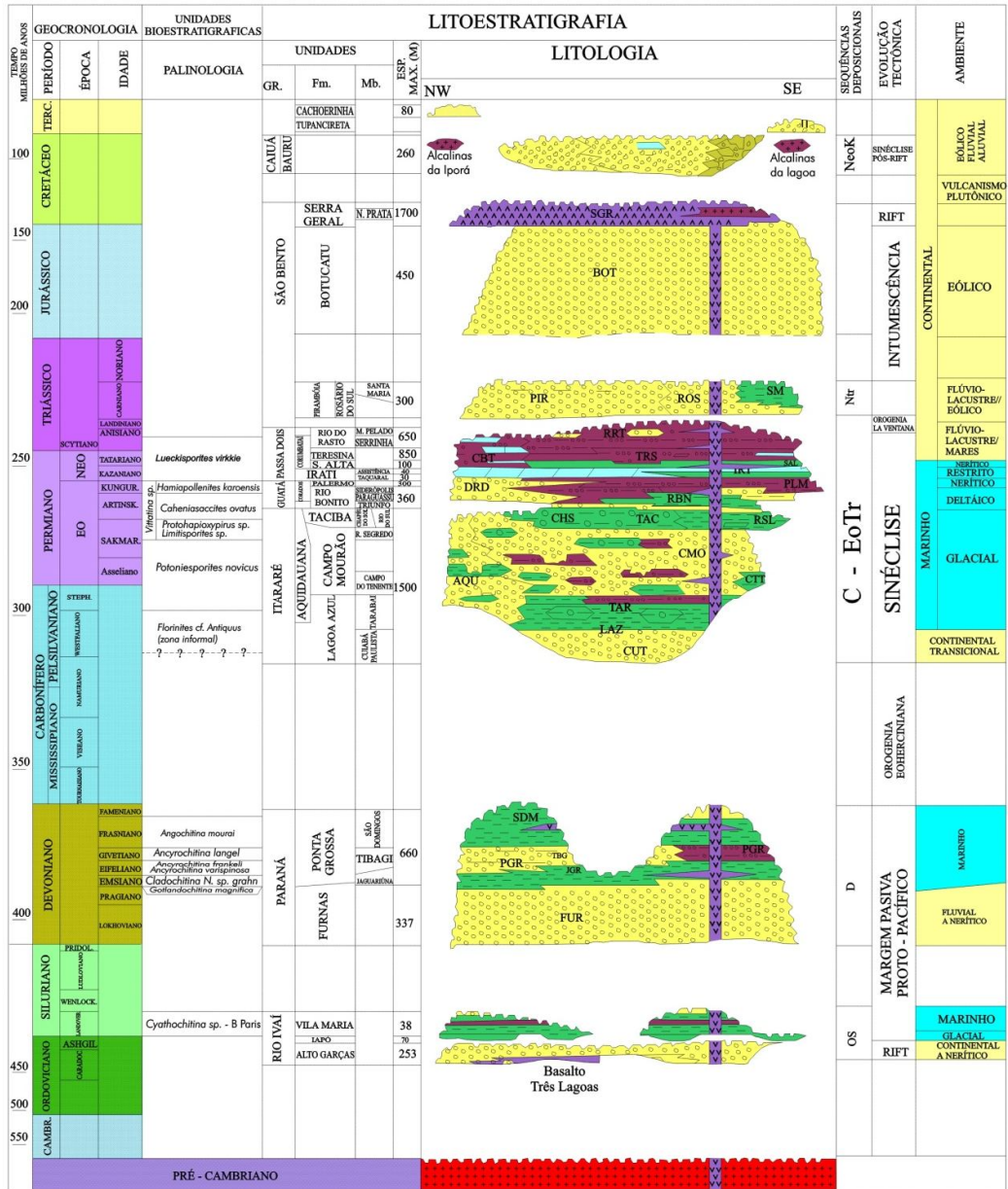


Figura 2. Carta estratigráfica da Bacia do Paraná (Milani *et al*, 1997).

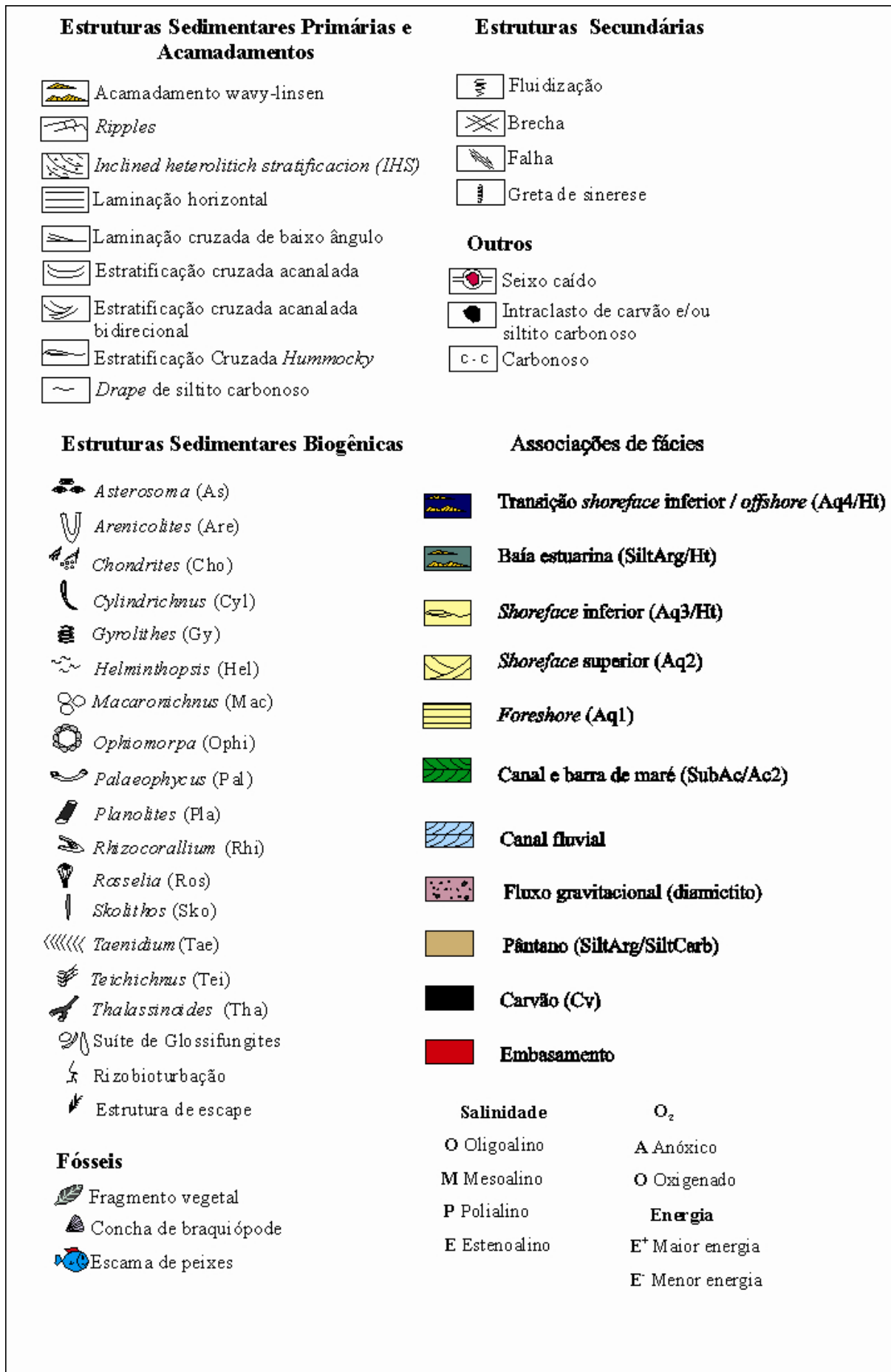


Figura 3. Legenda dos perfis sedimentológicos e das seções estratigráficas.

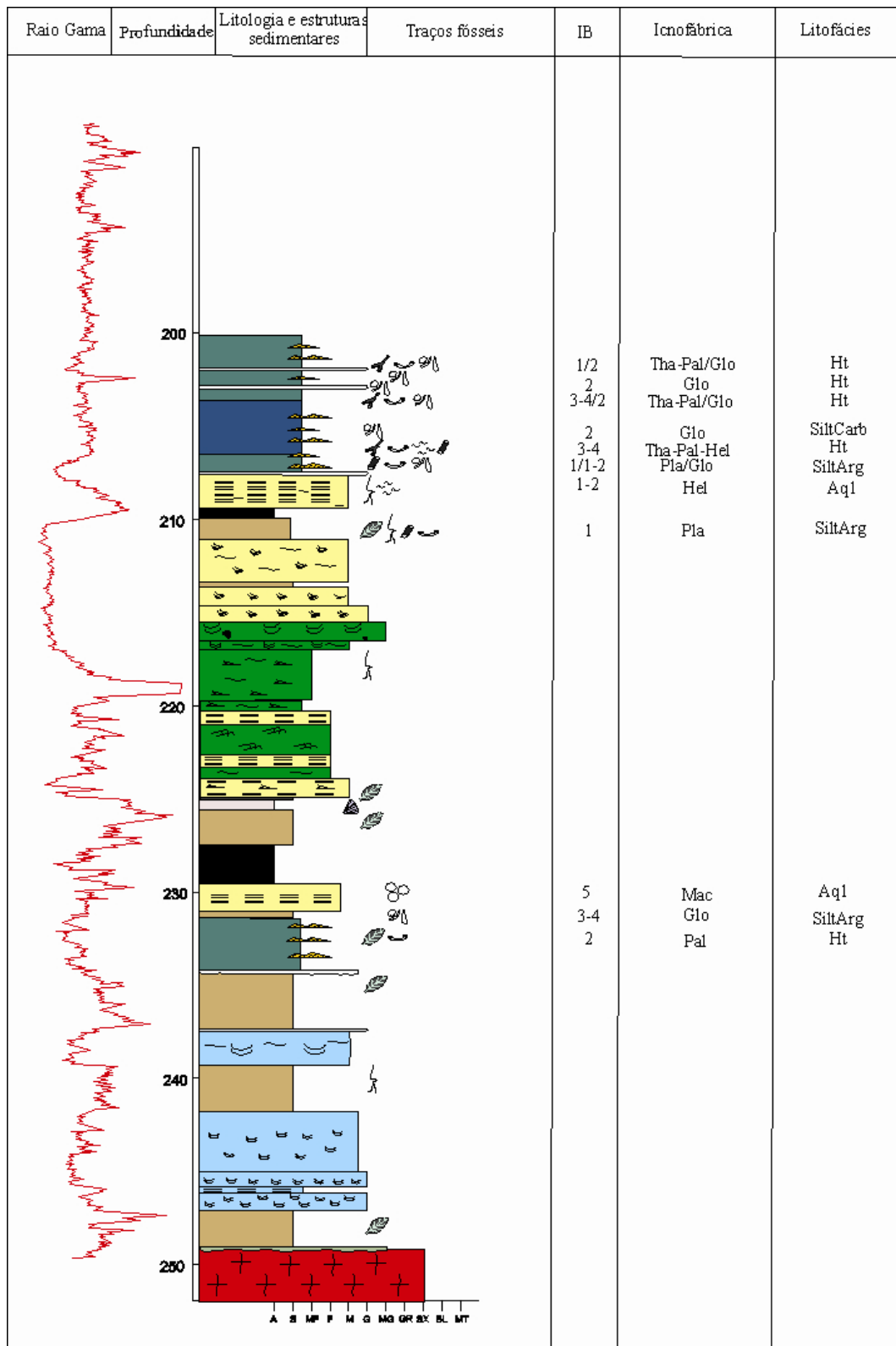


Figura 4. Perfil sedimentológico para a sucessão sedimentar Rio Bonito, na área de Cachoeira do Sul, RS, a partir do testemunho de sondagem IB-06-RS.



Figura 5: Fácies de leques aluviais (Pg) intercalados a fácies de planície de inundação (SiltArg) no testemunho de sondagem IB-04-RS (profundidade entre 285,20 e 277,00 m). Icnofábrica simples de *Planolites* (BI 1-2) na fácies de planície de inundação (SiltArg), profundidade entre 278,30 e 277,50 m. Escala: 10 cm.

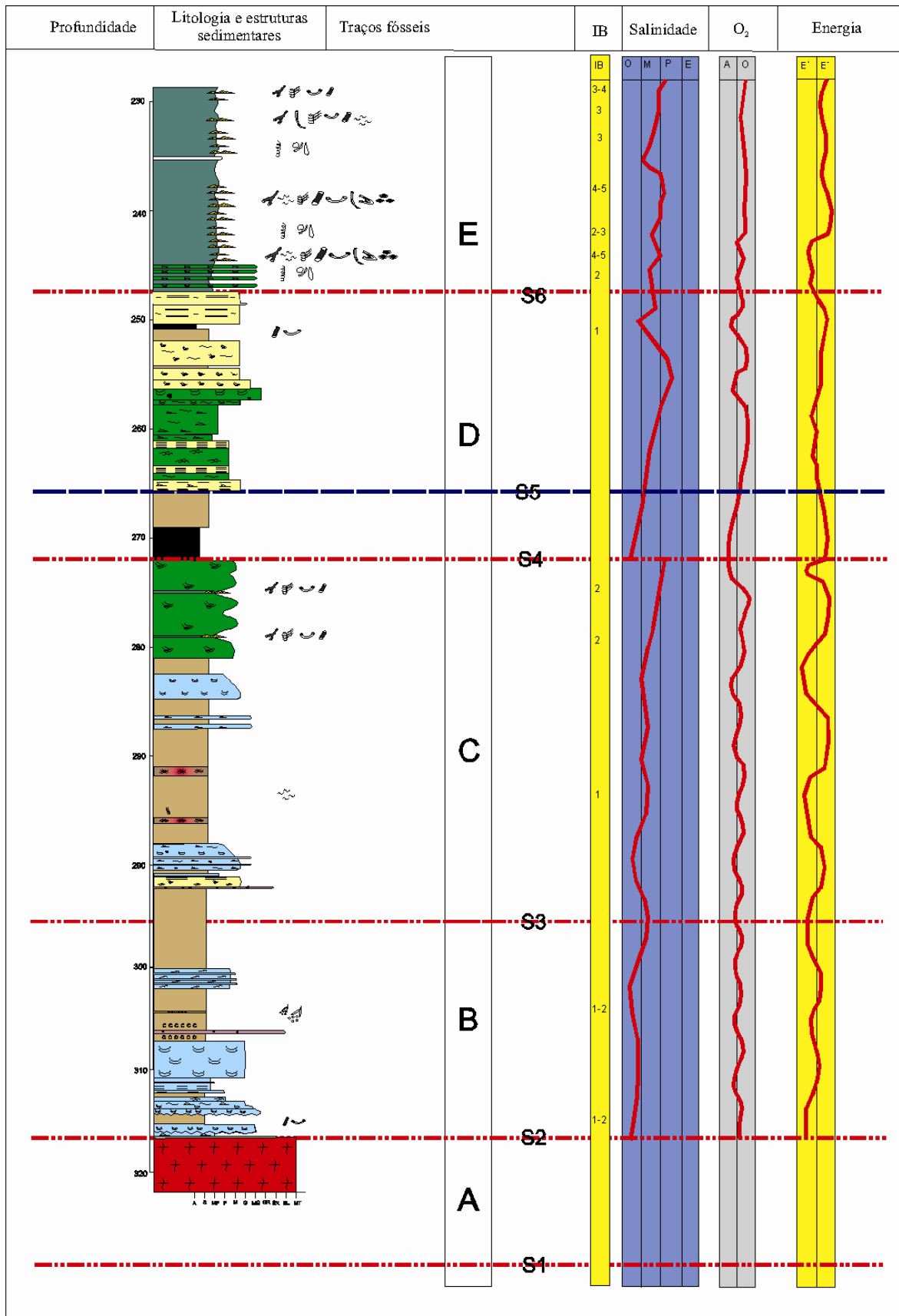


Figura 6. Perfil sedimentológico composto do topo da sucessão Rio Bonito apresentando as variações dos fatores ecológicos limitantes, influenciando diretamente no índice de bioturbação e diversidade da população.

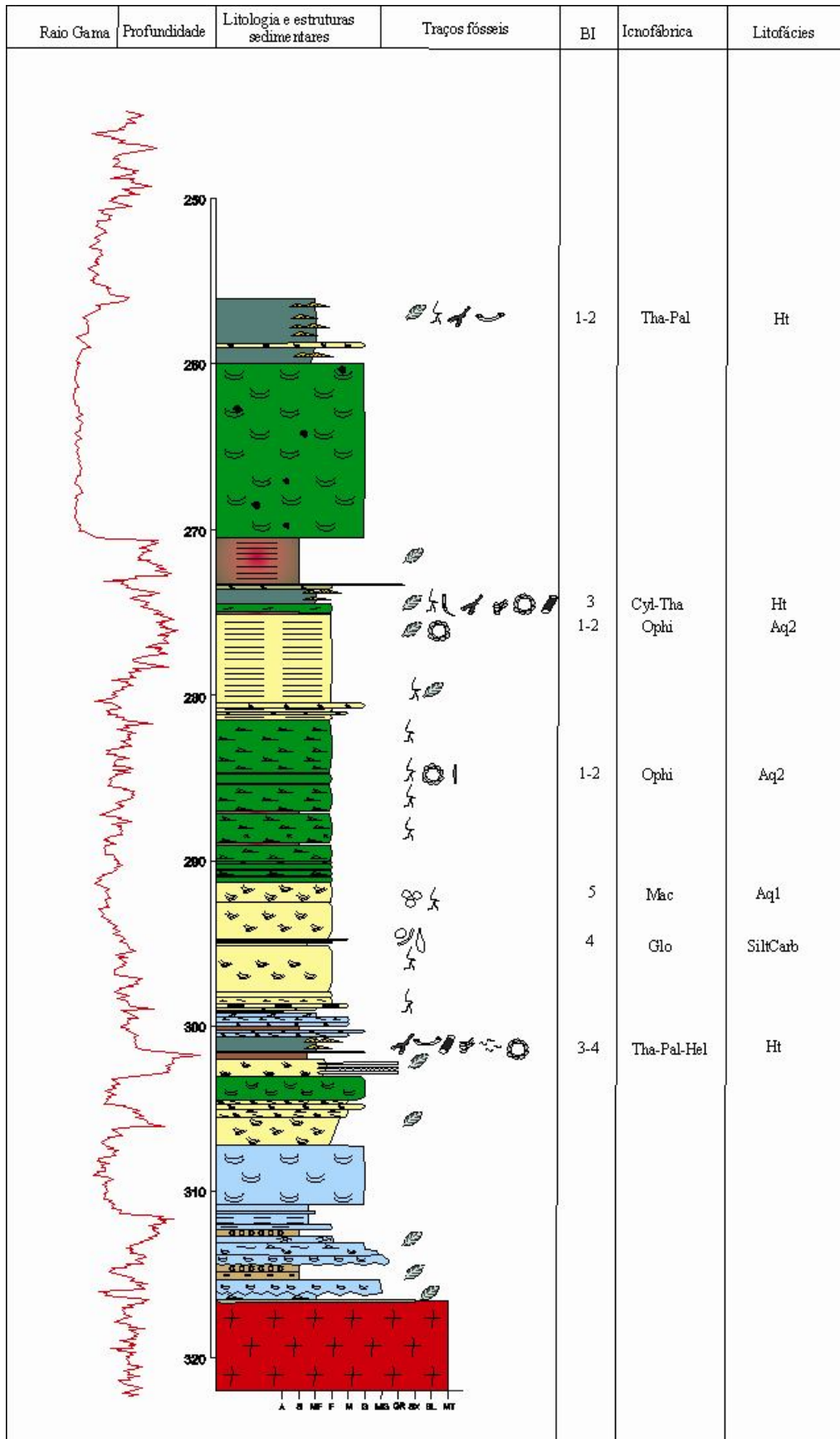


Figura 7: Perfil sedimentológico do testemunho de sondagem IB-15-RS.



Figura 8. Fácies de canais e barras de mares (litofácies Aq2), contendo a icnofábrica de *Ophiomorpha*, e fácies de *foreshore*, contendo a icnofábrica de *Cylindrichnus-Thalassinoides*. Testemunho de sondagem IB-15-RS, profundidade entre 287,00 e 273,00 m. Escala 10 cm.

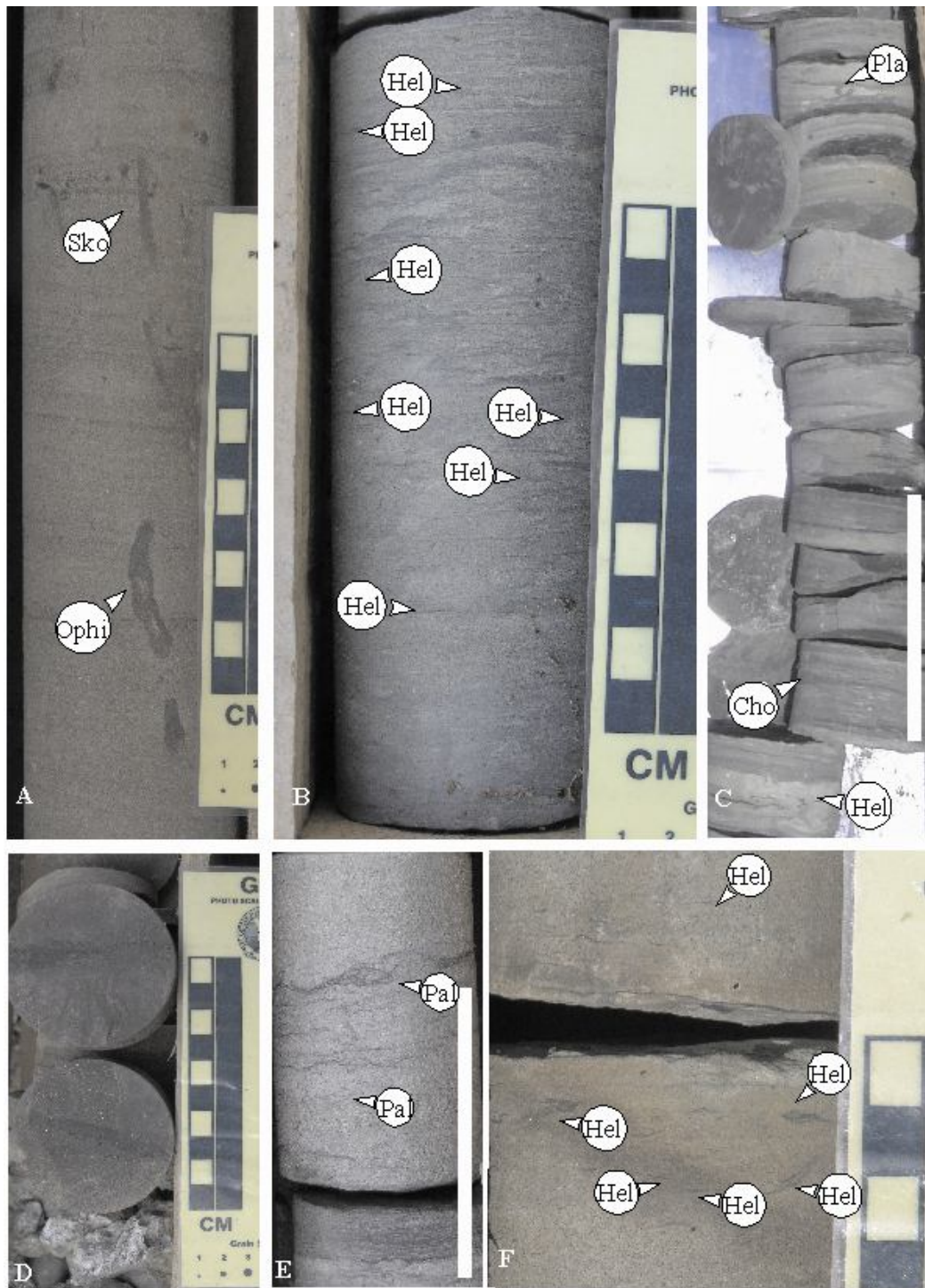


Figura 9. Icnofábricas nas principais litogias. A) Depósitos de canais e barras de maré: arenitos com baixo grau de bioturbação (BI 1-2), com icnofábrica de *Ophiomorpha*, contendo também *Skolithos* (Sko). Testemunho IB-15-RS, entre 287,00 e 285,00 m. B) Depósitos heterolíticos de fácies de baía estuarina, com bioturbação moderada (BI 2-3) por *Helminthopsis* (Hel). Testemunho IB-04-RS. C) Depósitos pantanosos: siltitos argilosos com bioturbação moderada (BI 2-3), da icnofábrica de *Chondrites-Helminthopsis-Planolites*. Testemunho IB-01-RS, entre 204,00 e 203,50 m. D) Compressão de folha de *Glossopteris* sp., testemunho IB-15-RS, a 272,00 m. E) Icnofábrica de *Palaeophycus*, com baixo índice de bioturbação (BI 1), em litofácies heterolítica, testemunho IC-56-RS, 246,00 m. F) Icnofábrica de *Helminthopsis*, na litofácies de Aq1, em fácies de *foreshore*, testemunho IB-06-RS, a 208,00 m. Escala: 10 cm.

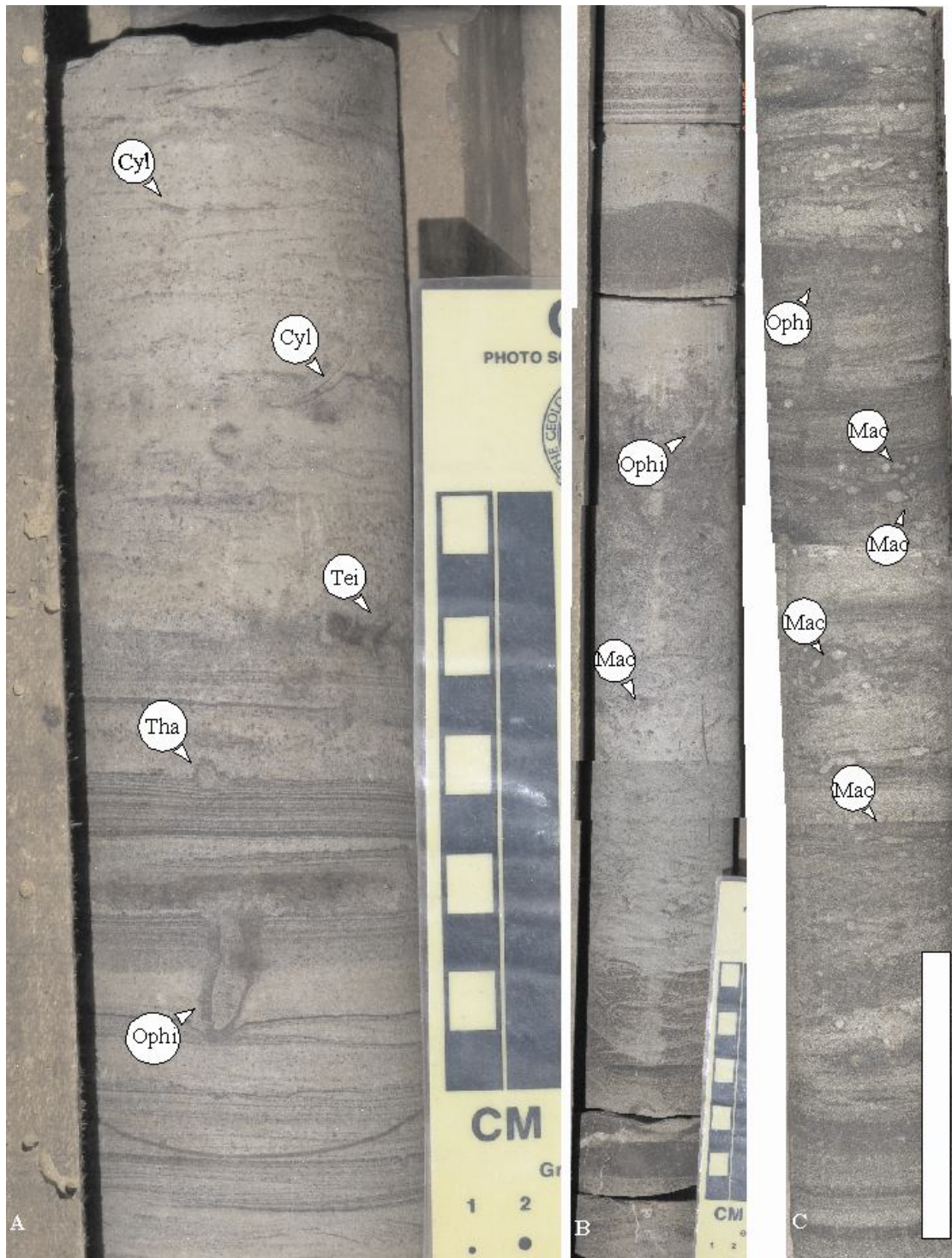


Figura 10. Icnofábricas em depósitos marinhos de *foreshore*. A) Icnofábrica de *Cylindrichnus-Thalassinoides* (Cyl-Tha) em litofácies Aq1, nas fácies de *foreshore*, contendo *Ophiomorpha* (Ophi) e *Teichichnus* (Tei) associados, com índice de bioturbação moderado (BI 2-3). B, C) Icnofábrica de *Macaronichnus* (Mac), em litofácies de Aq1 nos testemunhos de sondagens IB-06-RS, a 230,00 m e em IB-15-RS, a 295 e 291,00 m, preservada em palimpsesto sobre *Ophiomorpha* (Ophi). Escala: 10 cm.

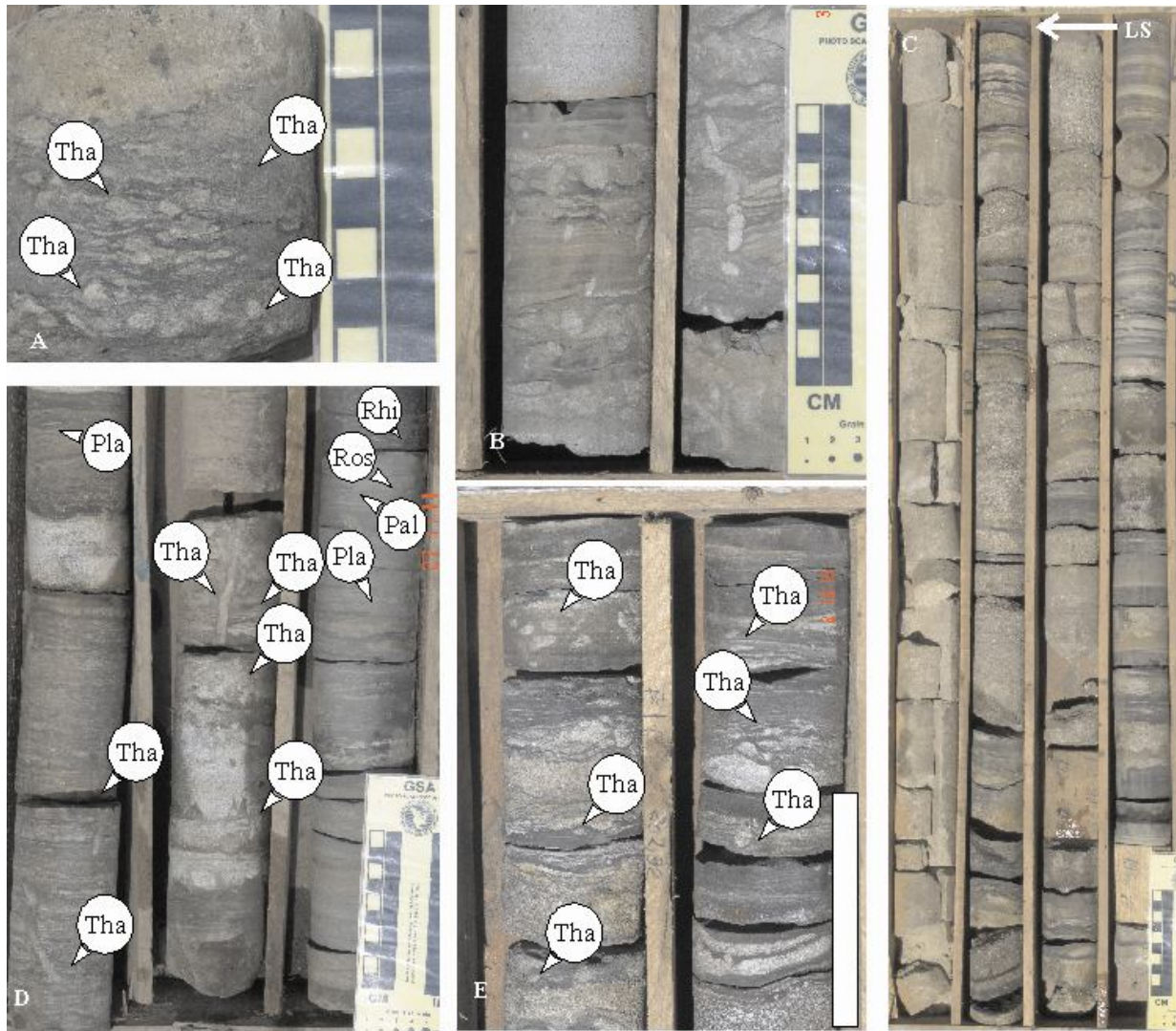


Figura 11. Diferentes colonizações da icnofábrica de *Thalassinoides*, em contexto de Icnofácies Glossifungites, com índice de bioturbação baixo (BI 2). A) Preservação em litofácies SiltCarb, no testemunho de sondagem IB-15-RS, a 295,50 m. B) Preservação em litofácies de Ht, em IC-20-RS, a 189,55 m. C) Preservação em litofácies de SiltCarb, em IC-20-RS, entre 201,00 e 198,00 m, correspondente ao Limite de Seqüência. D) Preservação em palimpsesto da icnofábrica de *Thalassinoides*, em contexto da Icnofácies Glossifungites, cortando a icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus*, no testemunho de sondagem IB-06-RS, entre 202,00 e 201,00 m. E) Preservação em litofácies Ht, em IB-06-RS, entre 204,00 e 202,30 m.



Figura 12. Icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis*. A. Um índice de bioturbação alto (BI4-5) e maior icnodiversidade ocorre nas litofácies Ht, no topo do testemunho de sondagem IC-20-RS, entre 196,00 e 191,00 m, assim como no topo da maioria dos testemunhos de sondagem. B. Detalhe do intervalo 195,65 m, com escavações dominadas por *Thalassinoides* e *Palaeophycus*. C, D. Escavações de *Teichichnus* diminutos e com *spreite* curtos. A. Escala: 10 cm. B, C e D: Escala: 3 cm.

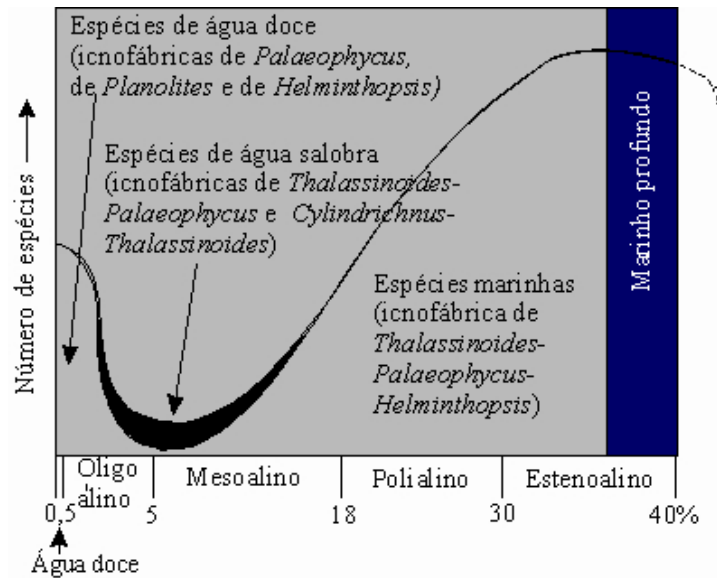


Figura 13. Gráfico da relação de diversidade de espécies, icnofácies e níveis de salinidade (modificado de Wignall, 1991 e de Mángano & Buatois, 2004). A área marinho franco mostra uma máxima icnodiversidade, representativa da icnofábrica de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis*, que caracteriza uma Icnofácies Cruziana. A redução da diversidade caracteriza faunas de águas salobras e, conseqüentemente, de uma baixa icnodiversidade, representadas pelas icnofábricas de *Thalassinoides-Palaeophycus* (Icnofácies Cruziana empobrecida) e de *Cylindrichnus-Thalassinoides* (Icnofácies mista Skolithos-Cruziana). Uma alta icnodiversidade é reflexo de condições flúvio-estuarinas associadas a biotas de água doce/terrestres, representada pelas icnofábricas de *Palaeophycus*, *Planolites* e *Helminthopsis*.



Figura 14: Estágios de desenvolvimento da Icnofácies Glossifungites (modificado de MacEachern *et al.*, 1992).

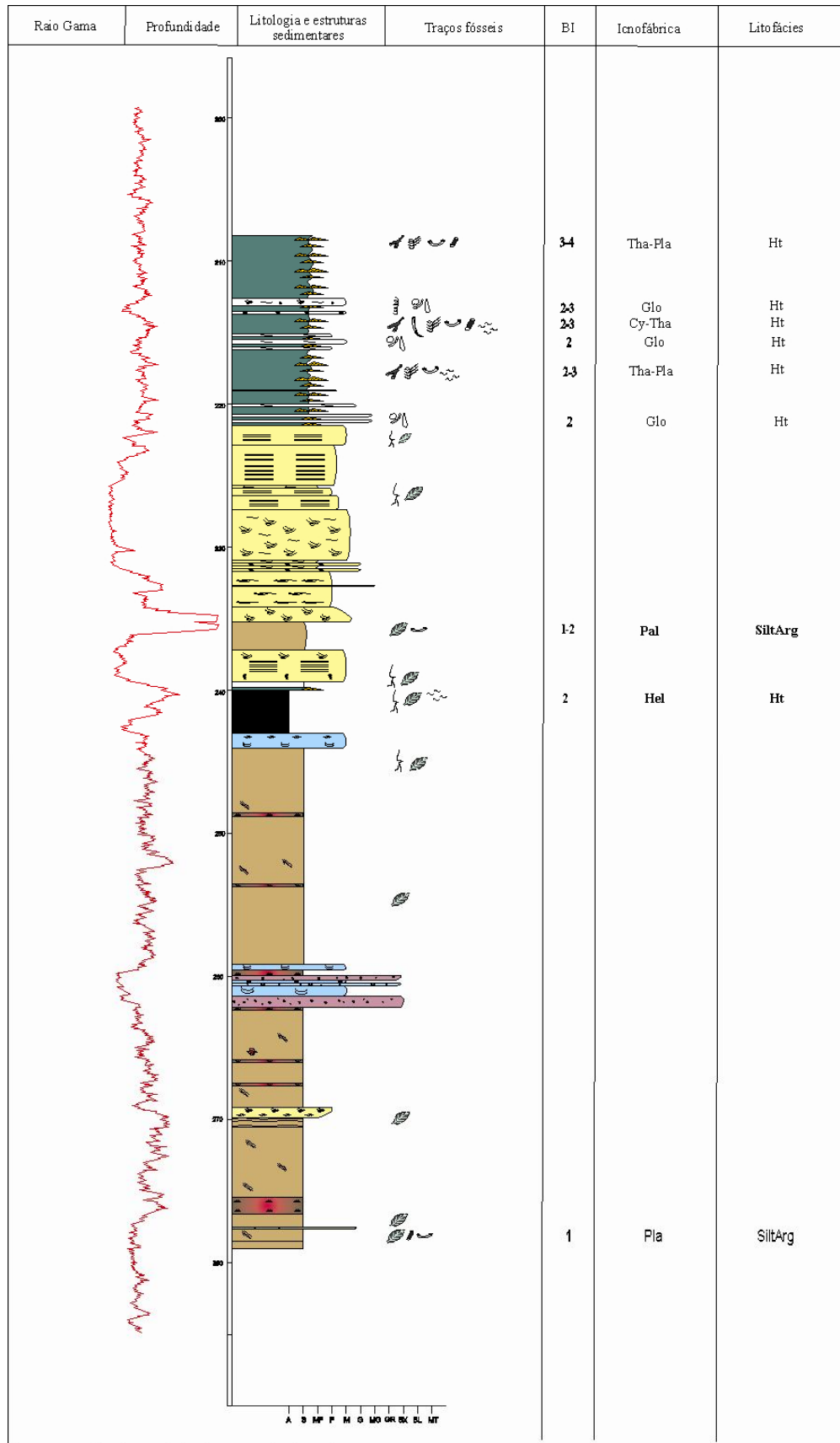


Figura 15. Perfil sedimentológico do testemunho de sondagem IB-04-RS.

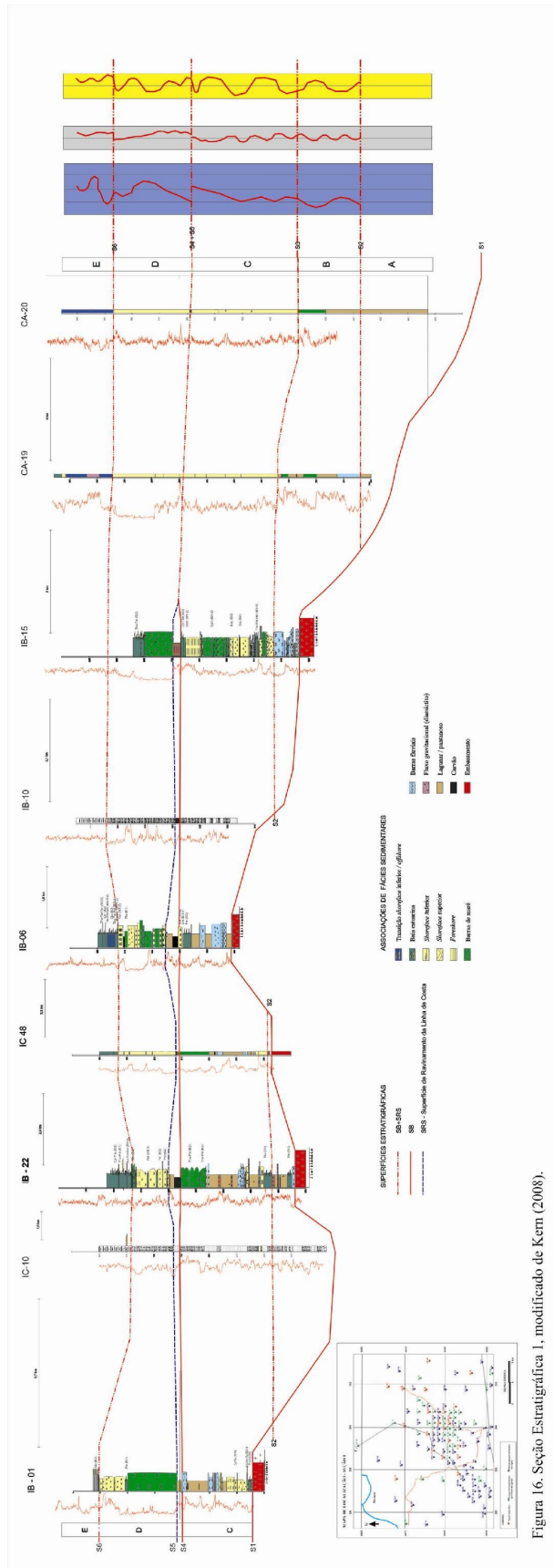


Figura 16. Seção Estratigráfica 1, modificado de Kern (2008).

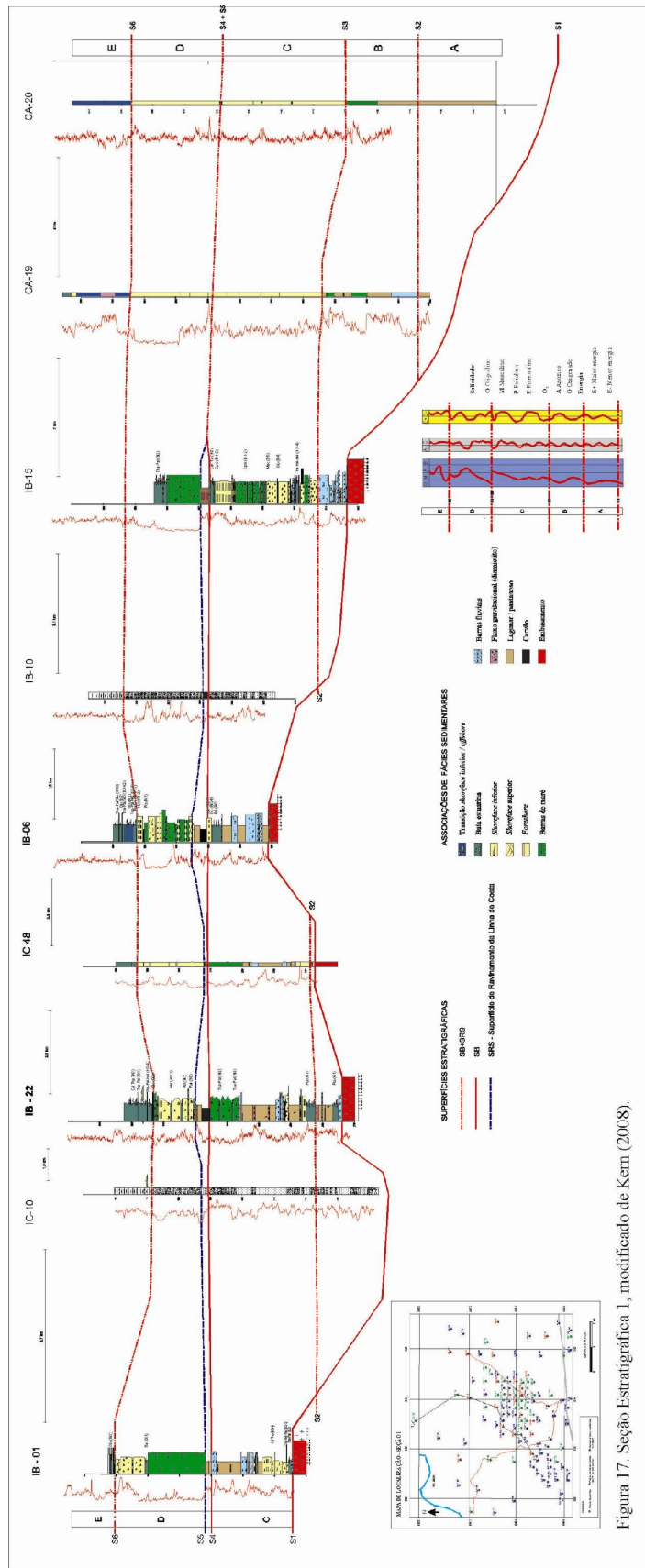


Figura 17. Seção Estratigráfica 1, modificado de Kern (2008).

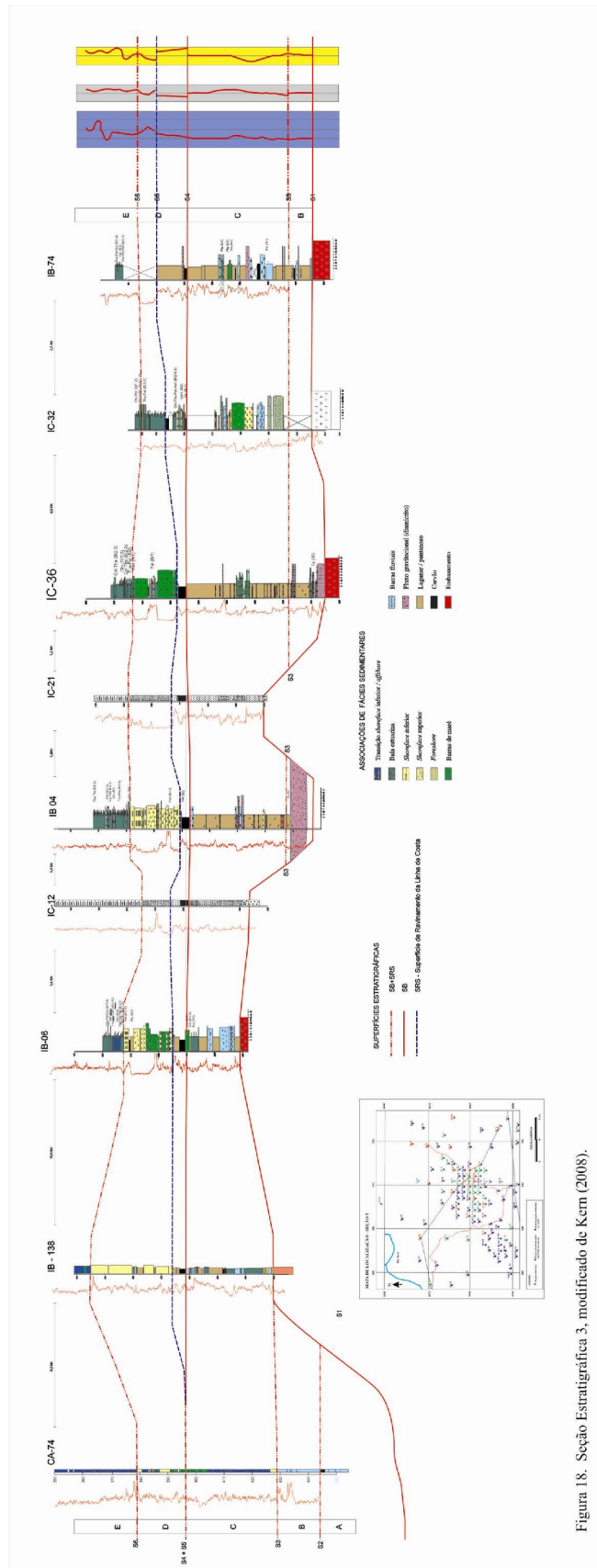


Figura 18. Seção Estratigráfica 3, modificado de Kern (2008).

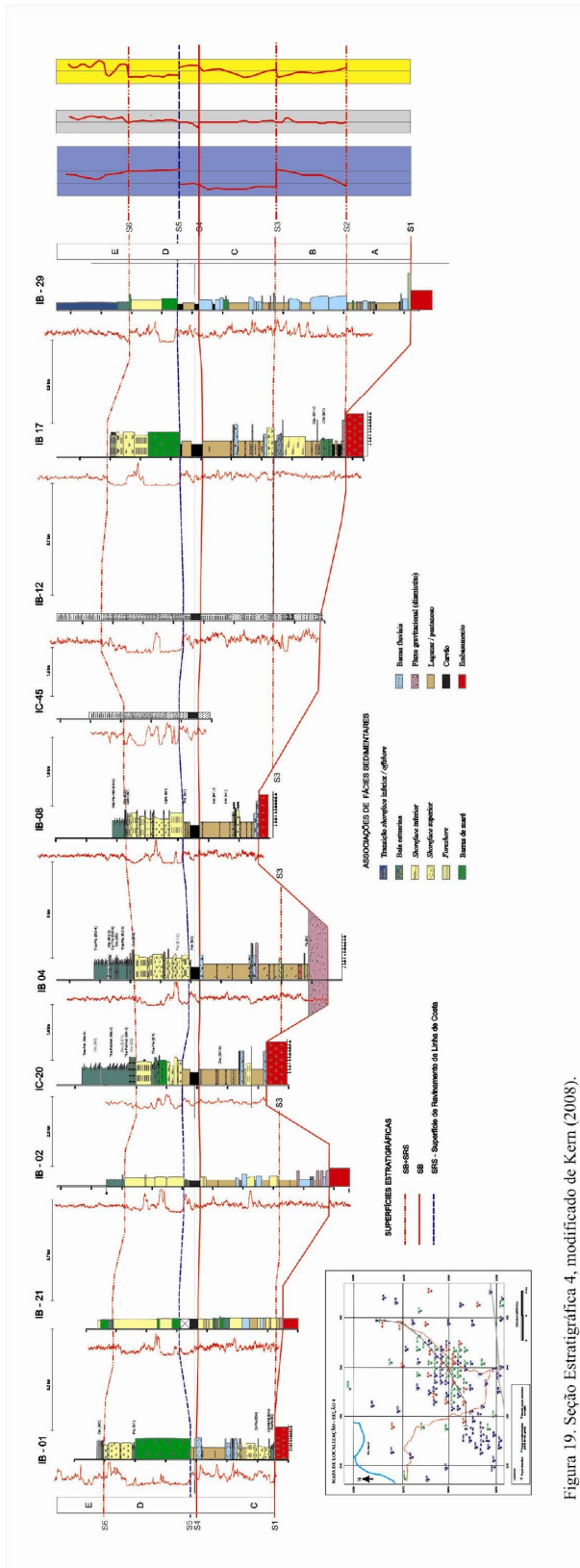


Figura 19. Seção Estratigráfica 4, modificado de Kern (2008).

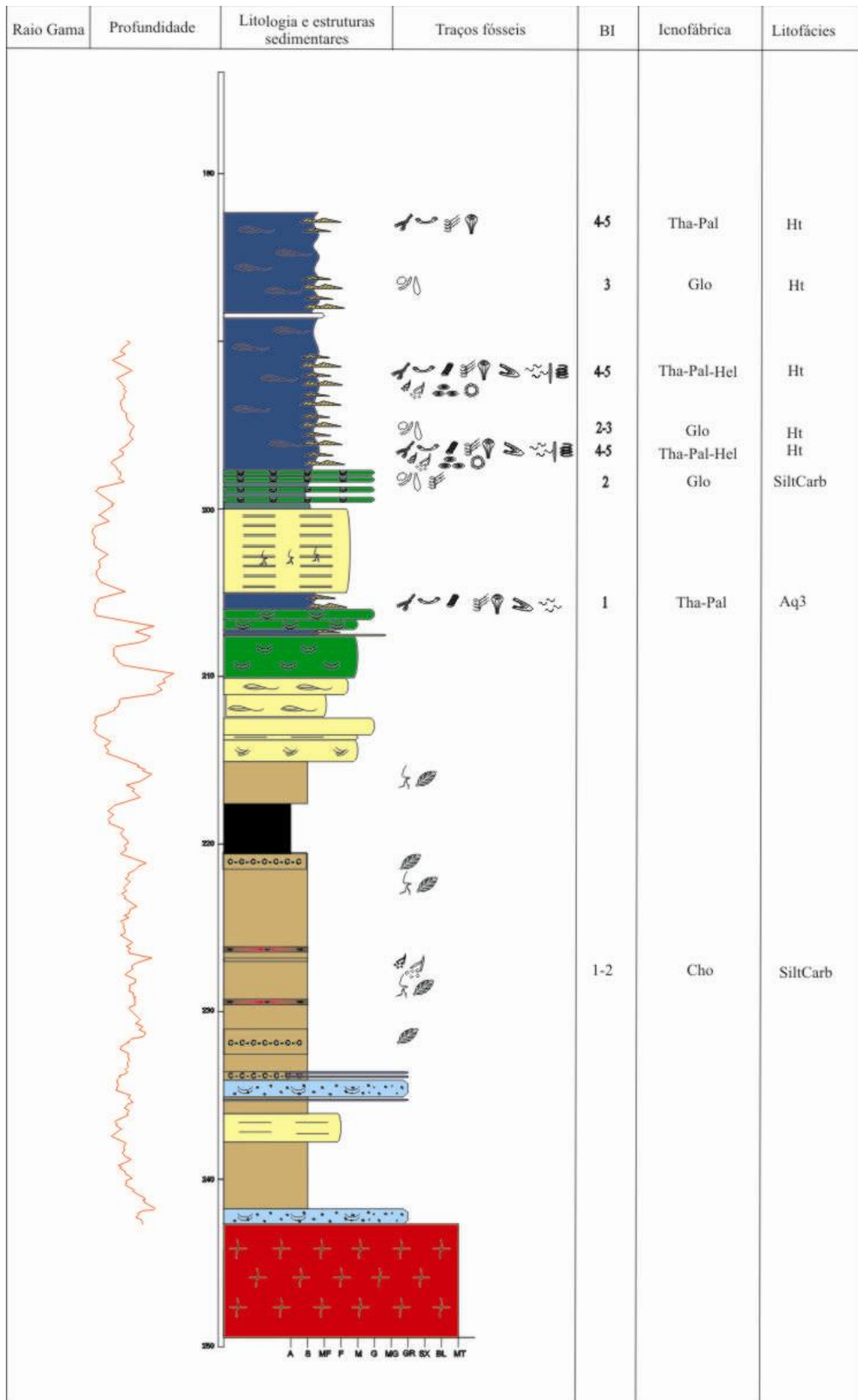


Figura 20. Perfil sedimentológico do testemunho de sondagem IC-20-RS.

Tabela 1. Descrição das litofácies, icnofábricas e associações de fácies da sucessão sedimentar Rio Bonito no bloco central da jazida carbonífera do Iruí (litofácies e associações de fácies a partir de Kern, 2008).

LITO-FÁCIES	DESCRIÇÃO	ICNOFÁBRICAS	ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES
Pg	Paraconglomerado formado por grânulos e seixos angulares a arredondados, de composição polimítica* e intraclastos pelíticos dispersos de forma caótica em matriz arenosa e/ou argilosa, muitas vezes micáceo. Coloração cinza esverdeada a vermelha.	Não bioturbado	Canais fluviais (fácies de leques aluviais)
Ort	ortoconglomerado formado por grânulos e seixos de composição polimítica*, arredondados a angulosos, e intraclastos pelíticos e fragmentos de carvão dispostas nos planos de estratificação. Matriz areno-siltosa, muitas vezes micácea. Estratificações cruzadas acanaladas de pequeno a médio porte e baixo a médio ângulo. Em alguns níveis ocorrem <i>drapes</i> de lama. Coloração esbranquiçada a cinza esverdeada.	Não bioturbado	Canais fluviais (fácies de canal e barras fluviais)
SiltArg	Siltito argiloso com restos vegetais. Localmente ocorrem grânulos e seixos caídos e laminações onduladas. Coloração variando de cinza claro a esverdeado. Em alguns níveis, o siltito apresenta aspecto brechado com colorações avermelhada, sugerindo paleossolos.	<i>Chondrites</i> <i>Planolites</i> <i>Chondrites-Helminthopsis</i> <i>Palaeophycus</i> <i>Thalassinoides</i>	Canais fluviais (fácies de planícies de inundação) Baía estuarina Pântanos
SiltCarb	Siltito carbonoso de coloração cinza escura a preta, rico em restos vegetais (folhas e galhos). Em alguns níveis ocorrem nódulos de pirita e impressões fósseis de plantas (flora <i>Glossopteris</i>).	<i>Chondrites</i> <i>Thalassinoides</i>	Planícies de marés Pântanos
Cv	Carvão. Cor preta e brilho fosco, composto por lâminas de vitrênio e lentes de fusênio. Restos vegetais são abundantes e nódulos de pirita e fraturas preenchidas por carbonato são comuns.		Pântanos
Mrg	Argila calcária (marga) de coloração creme. Localmente mostra moldes de raízes de conchas de bivalves e feições de paleoalteração.	Rizobioturbação	Pântanos
Ht	Siltitos cinza escuro a cinza esverdeado intercalados com arenitos finos, quartzosos e esbranquiçados. Os siltitos apresentam laminação horizontal a ondulada. Os arenitos ocorrem como camadas finas contínuas, (<i>wavy</i>) e/ou descontínuas (lenticulares = <i>linsen</i>). Gretas de sinerese ocorrem localmente.	<i>Helminthopsis</i> <i>Palaeophycus</i> <i>Planolites</i> <i>Thalassinoides</i> <i>Thalassinoides</i> - <i>Palaeophycus</i> <i>Thalassinoides</i> - <i>Palaeophycus</i> - <i>Helminthopsis</i>	Baía estuarina <i>Shoreface</i> inferior/transição <i>offshore</i>
Ac 1	Arenitos médios a grossos, arcoseanos com	Não bioturbado	Canais fluviais

	intraclastos, micas, fragmentos de carvão e restos vegetais, estratificação cruzada acanalada de médio porte e baixo a médio ângulo e/ou maciços, e <i>drapes</i> de lama entre os planos de estratificação, em alguns níveis. Coloração acinzentada a amarelada. Porosidade alta.		(fácies de canal e barras fluviais)
Ac 2	Arenitos muito finos a finos, micáceos, mal selecionados, intercalados com siltitos, com marcas de onda e estratificação cruzada cavalgante (<i>climbing ripple</i>) unidirecional e restos vegetais. Coloração acinzentada.	Não bioturbado	Canais fluviais (fácies de <i>crevasse splays</i>); Canais e barras de maré
SubAc	Arenitos médios a grossos, quartzosos com feldspatos caulinizados, com estratificação cruzada acanalada de médio a grande porte e baixo a alto ângulo e <i>drapes</i> de lama marcando os planos de estratificação, que muitas vezes indicam sentido de fluxo reverso. Intraclastos, fragmentos de carvão e restos vegetais podem estar presentes, preferencialmente na base das camadas. Coloração acinzentada a amarelada. Porosidade relativamente alta.	<i>Ophiomorpha</i>	Canais e barras de maré
Aq1	Arenitos quartzosos finos a médios, eventualmente grossos, bem selecionados. Apresentam grãos subarredondados a arredondados, laminação plano-paralela e, secundariamente, estratificação cruzada de baixo ângulo. Coloração esbranquiçada a amarelada. Porosidade alta.	<i>Cylindrichnus</i> <i>Thalassinoides</i> <i>Helminthopsis</i> <i>Macaronichnus</i>	Marinho raso (<i>foreshore</i>)
Aq2	Arenitos finos a médios, quartzosos e moderadamente selecionados com estratificação cruzada acanalada de pequeno a médio porte e de médio ângulo uni- e bidirecional intercalada com estratificação cruzada de baixo ângulo. Os grãos apresentam bom arredondamento e boa esfericidade. Ocorrem superfícies de reativação e <i>drapes</i> de lama marcando os <i>forsets</i> . Coloração acinzentada a acastanhada. Podem apresentar fragmentos de carvão e restos vegetais. Em alguns níveis apresentam-se ferrificados.	Não bioturbado	Marinho raso (<i>shoreface superior</i>)
Aq3	Arenito muito fino intercalado com delgados níveis de siltito, com laminação <i>swalley</i> e estratificação com truncamento de baixo ângulo (<i>hummocky</i>). Internamente, as lâminas apresentam microgradação ascendente de arenito muito fino passando a siltito. Coloração esbranquiçada a acinzentada. Pode apresentar restos vegetais.	<i>Cylindrichnus</i> <i>Thalassinoides</i> <i>Palaeophycus</i>	Marinho raso (<i>shoreface inferior</i>)
Aq4	Arenito médio a muito grosso, quartzoso, maciço e/ou com cruzadas acanaladas de pequeno porte. Matriz síltico-arenosa. Grãos angulosos a arredondados com esfericidade baixa a moderada. Ocorrem intraclastos pelíticos e fragmentos de carvão. Coloração esbranquiçada a acinzentada.	Não bioturbado	Marinho raso (transição ao <i>offshore</i>)

* - composição polimítica = quartzo, feldspato, fragmentos líticos de granitóides e rochas metamórficas.

6. CONCLUSÕES

A análise icnológica realizada na sucessão sedimentar que engloba os depósitos da Formação Rio Bonito no bloco central da jazida carbonífera do Iruí permitiu:

- (i) a identificação de quatro assinaturas icnológicas em trato de sistema transgressivo, representadas pelas icnofábricas de *Palaeophycus*, *Planolites* e *Helminthopsis* (domínio de águas oligoalinas a doces), de *Cylindrichnus-Thalassinoides* e *Thalassinoides-Palaeophycus* (domínio de águas mesoalinas), de *Thalassinoides* (domínio de eventos erosivos, com exumação e exposição temporária de pelitos compactados) e de *Thalassinoides-Palaeophycus-Helminthopsis* (domínio de águas polialinas a estenoalinas);
- (ii) o reconhecimento de superfícies autocíclicas nos depósitos costeiros, relacionadas ao avanço do trato transgressivo, e de uma superfície alocíclica, que separa o conjunto de seqüências A-D da seqüência E;
- (iii) o reconhecimento de condições químicas do meio (salinidade e oxigenação) que interferem na distribuição da fauna bentônica e que se refletem no padrão das icnofábricas, cujas informações, acrescidas à análise dos parâmetros físicos, permitem refinar a caracterização de sistemas deposicionais;
- (iii) confirmar a relevância da análise integrada da sedimentologia e da icnologia de sucessões sedimentares ricas em icnofósseis para o refinamento das interpretações estratigráficas e paleoambientais, em estudos estratigráficos de alta resolução.

7. REFERÊNCIAS

- Aboarrage, A.M. & Lopes, R.C. 1986. *Projeto a Borda Leste da Bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica*. Porto Alegre, CPRM, 18 v.
- Albuquerque, L.F.de & Lopes, R. da C. 1990. Estudo Paleambiental da Formação Rio Bonito na Região das Jazidas do Leão, Pântano Grande e Nordeste da Jazida do Iruí – RS: Uma análise inicial. *Ciência e Natura*, Santa Maria, **12**:35-39.
- Bann, K.L. & Fielding, C.R. 2004. An integrated ichnological and sedimentological comparison of non-deltaic shoreface and subaqueous delta deposits in Permian reservoir units of Australia. In: D. McIlroy (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society of London, London, Special Publication, **228**: 273-310.
- Bann, K.L., Fielding, C.R., MacEachern J.A. & Tye S.C. 2004. Differentiation of estuarine and offshore marine deposits using integrated ichnology and sedimentology: Permian Pebble Beach Formation, Sydney Basin, Australia. In: D. McIlroy (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society of London, London, Special Publication, **228**: 179-211.
- Beynon, B.M. & Pemberton, S.G. 1992. Ichnological signature of a brackish water deposit: an example from the Lower Cretaceous Grand Rapids Formation, Cold Lake Oil Sands Area, Alberta. In: S.G. Pemberton (ed.) *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration, a core workshop*, SEPM Core Workshop, Calgary, **17**: 199-221.
- Boeira., J.B & Netto, R.G. 1987. Novas considerações sobre os icnofósseis da Formação Rio Bonito, Cachoeira do Sul, RS. Estudos Tecnológicos. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, **11**(25):105-140.
- Bromley, R.G. 1990. Trace fossils. Biology and taphonomy. Unwin Hyman, Londres, 280p.
- Bromley, R.G. 1996. Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications, second edition: Chapman and Hall, London, 361p.
- Bromley, R.G. & Ekdale, A.A. 1984. *Chondrites*: a trace fossil indicator of anoxia in sediments. *Science*, **224**:872-874.
- Bromley, R.G. & Ekdale, A.A. 1986. Composite ichnofacies and tiering of burrows. *Geological Magazine*, **123**:59-65.
- Buatois, L.A. & Angriman, O.L. 1992. The ichnology of a submarine braided channel complex: the Whisky Bay Formation of James Ross Island, Antarctica, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **94**:119-140.
- Buatois, L.A., Netto, R.G., & Mángano, M.G. 2001. Paleoenvironmental and sequence-stratigraphic analyses of lower permian marginal - to shallow - marine coal - bearing successions of the Paraná Basin in Rio Grande do Sul, Brazil, based on ichnological data. In: J.H.G. Melo & G.J.S. Terra (eds.), *Correlação de Sequências Paleozóicas Sul-Americanas*, Ciência-Técnica-Petróleo, 20.

- Buatois, L.A., Gringas, M.K., MacEachern, J., Mángano, M.G., Zonneveld, J.P., Pemberton, S.G., Netto R.G., & Martin, A.J. 2005. Colonization of brackish-water systems through time: Evidence from the trace-fossil record. *Palaios*, v.20.
- Buatois, L.A., Mángano, M.G. & Aceñolaza, F. 2002. Trazas fósiles. Señales de comportamiento en El registro estratigráfico. Museu Paleontológico Egidio Feruglio, Buenos Aires, Argentina, 382p.
- Buatois, L.A., Netto, R.G. & Mángano, M.G. 2007. Ichnology of Permian marginal- to shallow-marine coal-bearing successions: Rio Bonito and Palermo Formations, Paraná Basin, Brazil. In: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gringas & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:167-177.
- Cazzulo-Klepzig, M. & Guerra-Sommer, M. 1983. O morfogênero *Phyllothea* em sedimentitos da Formação Rio Bonito no Rio Grande do Sul. In: Simpósio Sulbrasileiro de Geologia, *Anais*, SBG, Núcleo RS/SC, Porto Alegre, **1**:160-169.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1980. Projeto Iruí-Butiá Bloco Iruí Carvão Mineral: relatório final de pesquisa, áreas B-36, B-37, C-3, C-4, C-5, C-6, C-9, C-10, C-11. Porto Alegre, 2v.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1981. Projeto Iruí-Butiá Bloco Bexiga: relatório final de pesquisa, áreas G-01 a G-03. Porto Alegre, 1v.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1982. Projeto Iruí-Butiá Bloco Capão da Várzea: relatório final de pesquisa, áreas B-01 a B-03, B-07 a B-09, B-13 a B-22 e B-35. Porto Alegre, 4v.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1987. Projeto Iruí-Butiá Bloco Iruí Área Capão das Pombas Sul: relatório final de pesquisa, áreas RS-33 a RS-37. Porto Alegre, 1v.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1988. Projeto Iruí-Butiá Bloco Iruí Área Capão das Pombas: relatório final de pesquisa, áreas RS-01, RS-45, RS-46 e RS-49. Porto Alegre, 1v.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2001. Mapa geológico do Brasil. Escala 1:5.000.000. Brasília, Ministério de Minas e Energia, CD-Rom.
- Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A. & Boyd, R. 1992. Estuarine facies models: conceptual, basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, **62**(6):1130-1146.
- Delaney, P.J.V. & Goñi, J. 1963. Correlação Preliminar entre as Formações Gondwânicas do Uruguai e Rio Grande do Sul. *Boletim Paranaense de Geografia*, **8/9**:1-21.
- Dias-Fabício, M.E. 1981. Paleopalínologia da Formação Rio Bonito na área de Gravataí - Morungava, Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, Porto Alegre, **14**:69-130.
- Dias-Fabício, M.E., Piccolli, A.E.M., Marques-Toigo, M. 1980. Interpretação paleogeográfica com base em dados palinológicos da Formação Rio Bonito (Permiano Inferior), Bacia do Paraná, RS. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 31, *Anais*, Balneário Camboriú, **2**:729-739.
- Ekdale, A.A. 1988. Pitfalls of paleobathymetric interpretations based on trace fossil assemblages. *Palaios*, **3**:464-472.
- Ekdale, A.A., Bromley, R.G. & Pemberton, S.G. 1984. *Ichnology. The use of trace fossils in sedimentology and stratigraphy*. SEPM, Tulsa, Oklahoma, 371p.
- Elias, A.D.D., Garcia, A.J. & Lavina, E.L. 2000. Arcabouço Cronoestratigráfico do Eopermiano da Bacia do Paraná na região Centro-Oeste do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, **27**(2):31-44.

- Ferreira, J.A.F., Süfert, T. & Santos, A.P. 1978. Projeto Carvão no Rio Grande do Sul: relatório final. DNPM/CPRM, Porto Alegre, 16v.
- Fielding, C.R., Bann, K.L. & Trueman, J.D. 2007. Resolving the architecture of a complex, low-accommodation unit using high-resolution sequence stratigraphy and ichnology: the late Permian Freitag Formation in the Denison Trough, Queensland, Australia. *In: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) Applied Ichnology, SEPM, Short Course Notes, 52:179-208.*
- Frey, R.W. 1975. *The estudy of trace fossils.* Springer-Verlag, New York, 562p.
- Frey, R. & Pemberton, S. G. 1984. Trace fossils facies models. *In: R.G. Walker (ed.). Facies models.* Geoscience Canada, Reprint Series, Alberta, **1/2:189-207.**
- Frey, R.W. Howard, J.D. & Pryor, W.A. 1978. *Ophiomorpha*: its morphologic, taxonomic and environmental significance. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology, 23:199-229.*
- Gingras, M.K., Pemberton S.G., Saunders, T. & Clifton, H.E. 1999. The icnology of Modern and Pleistocene Brackish-water deposits at Willapa Bay, Washington: Variability in estuarine settings. *Palaaios, 14:352-374.*
- Gingras, M.K., Bann, K.L., MacEachern, J.A. & Pemberton, S.G. 2007. A conceptual framework for the application of trace fossils. *In: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) Applied Ichnology, SEPM, Short Course Notes, 52:1-26.*
- Gordon, Jr., M. 1947. Classification of the Gondwanic Rocks of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul. *Notas Preliminares e Estudos, 38:1-20.*
- Gonçalves, A.R.L., Santos, M.A.A. & Lorandi, R. 1990. *Estudo Faciológico do Supergrupo Tubarão na Região da Barrocada (Cachoeira do Sul - RS).* Dissertação de Mestrado, Unisinos, São Leopoldo, 1v.
- Habekost, N.T. 1978. Paleoambientes da Formação Palermo no Sudeste do Estado de Santa Catarina - Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia, São Leopoldo, 4:4-177.*
- Habekost, N.T. 1983. Paleoambientes da Formação Palermo na Região Central do Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia, São Leopoldo, 7(16):43-114.*
- Holz, M. 1987. Leques aluviais – faciologia e ocorrência em sedimentitos do Supergrupo Tubarão (Eo-Permiano) da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia, São Leopoldo, 25:65-104.*
- Holz, M. 2003. Sequence stratigraphy of a lagoonal estuarine system – an example from the lower Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil. *Sedimentary Geology, 167: 305-331.*
- Holz, M., Dias-Flor, M.A. 1984. Análise estratigráfica da Formação Rio Bonito (Permiano Inferior) na área de Cachoeira do Sul. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Anais, Rio de Janeiro, p. 993-1006.*
- Holz, M. & Dias, M.E. 1998. Taphonomy of palynological records in a sequence stratigraphy framework: an example of the Eo-Permian from the Paraná Basin of Southern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology, 99:217-233.*
- Howard, J.D., Elders, C.A. & Heinbokel, J.F. 1975. Animal-sediment relationships in estuarine point bar deposits, Ogeechee River-Ossabaw Sound, Senckenbergiana Maritima, **7:181-203.**

- Kern, H.P. 2008. Arquitetura Estratigráfica de Corpos Arenosos Gerados por Ondas e Marés no Bloco Central da Mina de Iruí (Formação Rio Bonito, eopermiano da Bacia do Paraná, RS). Dissertação de Mestrado. PPGeo Unisinos, São Leopoldo, 145 p.
- Lavina, E.L.C. & Lopes, R. da C. 1987. A Transgressão Marinha do Permiano Inferior e a Evolução Paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul. *Paula-Coutiana*, Porto Alegre, **1**:51-103.
- Lavina, E.L.C., Nowatzki, C.H., Santos, M.A.A. dos, Leão, H.Z. 1985. Ambientes de Sedimentação do Super-Grupo Tubarão na Região de Cachoeira do Sul, RS. *Acta Geologica Leopoldensia*, São Leopoldo, **9**(21):5-75.
- Leinz, V. 1937. Estudos sobre a Glaciação Permocarbonífera do Sul do Brasil. *Boletim do Serviço de Fomento da Produção Mineral*, DNPM, Rio de Janeiro, **21**:1-47.
- Lettley, C.D., Gingras M.K., Pearson N.J. & Pemberton, G. 2007. Burrowed stiffground on estuarine point bars: modern and ancient examples, and criteria for their discrimination from firmgrounds developed along omission surfaces. In: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:325-333.
- Lopes, R.C. 1990. Estudo paleoambiental da Formação Rio Bonito na Jazida do Leão – RS. Uma análise inicial. *Acta geológica leopoldensia*, São Leopoldo, **31**:91-112.
- Lopes, R.C. 1995. Arcabouço Aloestratigráfico para o Intervalo Rio Bonito- Palermo. (Eopermiano da Bacia do Paraná), entre Butiá e São Sepé; Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 254p.
- Lopes, R.C. & Lavina, E.L.C. 2001. Estratigrafia de seqüências nas formações Rio Bonito e Palermo (Bacia do Paraná), na região carbonífera do Baixo Jacuí, Rio Grande do Sul. In: H.J.P.S. Severiano Ribeiro (ed.). *Estratigrafia de seqüências: fundamentos e aplicações*. Unisinos, São Leopoldo, p. 391-419.
- Lopes, R.C., Lavina, E.L.C. & Signorelli, N. 1986. Fácies Sedimentares e Evolução Paleoambiental do Supergrupo Tubarão na Borda Leste da Bacia do Paraná: uma seção regional nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 24, *Anais*, Goiânia, **1**:206-218.
- Lopes, R.C., Paim, P.S.G., Lavina, E.L.C. 2003a. Modelo de reservatório em arenitos litorâneos: ilha de barreira permiana na Formação Rio Bonito (Minas do Leão - RS). In: P.S.G. Paim, U.F. Faccini, R.G. Netto (eds.), *Geometria, Arquitetura e Heterogeneidade de corpos sedimentares - Estudo de Casos*. Unisinos, São Leopoldo, p. 58-77.
- Lopes, R.C., Faccini, U.F., Paim, P.S.G., Garcia, A.J.V., Lavina, E.L.C. 2003b. Barras de Maré na Formação Rio Bonito: elementos arquiteturais e geometria dos corpos (Iruí e Capané - RS). In: P.S.G. Paim, U.F. Faccini, R.G. Netto (eds.), *Geometria, Arquitetura e Heterogeneidade de corpos sedimentares - Estudo de Casos*. Unisinos, São Leopoldo, p. 78-92.
- MacEachern, J.A. & Burton J.A. 2000. Firmground *Zoophycos* in the Lower Cretaceous Viking Formation, Alberta: a distal expression of the *Glossifungites* ichnofacies: *Palaios*, **16**:387-398.
- MacEachern, J.A. & Pemberton, S.G. 1992. Ichnological aspects of Cretaceous shoreface successions and shoreface variability in the Western Interior Seaway of North America. In: S.G. Pemberton (ed.),

- Applications of icnology to petroleum exploration – A core workshop. Society of Economic Paleontologist and Mineralogist, Core Workshop, **17**:57-84.
- MacEachern, J.A., Raychaudhuri, I. & Pemberton, S.G. 1992. Stratigraphic applications of the *Glossifungites* ichnofacies: delineating discontinuities in the rock record. *In*: S.G. Pemberton (ed.), Applications of icnology to petroleum exploration – A core workshop. Society of Economic Paleontologist and Mineralogist, Core Workshop, **17**:169-198.
- MacEachern, J.A., Bann, K.L., Pemberton, S.G. & Gingras, M.K. 2007a. The ichnofacies paradigm: high-resolution palaeoenvironmental interpretation of the rock record. *In*: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:27-64.
- MacEachern, J.A., Gingras, M.K., Bann, K.L., Pemberton, S.G. & Reich, L.T. 2007b. Applications of icnology to high-resolution genetic stratigraphic paradigms. *In*: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:95-129.
- MacEachern, J.A., Pemberton, S.G., Bann, K.L. & Gingras, M.K. 2007c. Departures from the archetypal ichnofacies: effective recognition of physic-chemical stresses in the rock record. *In*: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:65-93.
- Machado, E.R. & Castanho, O.S. 1956. *Pesquisa de Carvão Mineral na Faixa Sedimentar do Rio Grande do Sul*. Departamento Autônomo de Carvão Mineral. Porto Alegre, 42p.
- Mángano, M.G. & Buatois, L.A. 2004. Ichnology of Carboniferous tide-influenced environments and tidal flat variability in the North American Midcontinent. *In*: D. McIlroy (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society of London, London, Special Publication, **228**:157-178.
- Mángano, M.G., Buatois L.A., West, R.R. & Maples, C.G. 1998. Contrasting behavioral and feeding strategies recorded by tidal-flat bivalve trace fossils from the Upper Carboniferous of eastern Kansas. *Palaios*, **13**:335-351.
- Martin, K.D. 2004. A re-evaluation of the relationship between trace fossils and dysoxia. *In*: McIlroy D. (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society of London, London, Special Publication, **228**:141-156.
- Martini da Rosa, C.L., Grangeiro, M.E.; Bocalon, V.L.S.; Netto, R.G. 1993. Craticulichnum iruiensis: uma contribuição à paleoicnologia da seqüência sedimentar Rio Bonito/Palermo no RS. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, v. 17, **39** (1): 33-45.
- McIlroy, D. 2004. Ichnofabrics and sedimentary facies of a tide-dominated delta: Jurassic Ile Formation Field, Haltenbanken, Offshore Mid-Norway. *In*: D. McIlroy (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society of London, London, Special Publication, **228**:237-272.
- Medeiros, R.A. & Thomaz-Filho, A. 1973. Fácies e ambientes deposicionais da Formação Rio Bonito. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 27, Anais, Aracajú, **3**:247-254.
- Milani, E.J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental*. Tese de Doutorado. UFRGS, Porto Alegre, 2v., 255p.

- Netto, R.G. 1994. A Paleocnologia como ferramenta de trabalho na sequencia sedimentar Rio Bonito/Palermo. Tese de Doutorado, UFRGS, Porto Alegre, 2v. 272p.
- Netto, R.G. 2001. Paleocnologia do Rio Grande do Sul. *In: M. Holz e L.F. De Ros (eds.) Estratigrafia de Sequências*. Ed. UNISINOS, São Leopoldo, p. 219-259.
- Netto, R.G. & Gonzaga, T.D. 1985. Paleocnologia do Grupo Guatá (Supergrupo Tubarão) nos Sedimentitos da Mina do Iruí, Cachoeira do Sul, RS. *Acta Geologica Leopoldensia*, **21**:77-102.
- Netto, R.G. & Rossetti, D.F. 2003. Ichnology and salinity fluctuations: a case study from the early Miocene (lower Barreiras Formation) of São Luís Basin, Maranhão, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **6**:5-18.
- Netto, R.G., Santos, M.A.A., Nowatzki, C.H. 1991. Permian trace fossils from estuarine sequences at Rio Grande do Sul State, Brazil. *In: IGCPGS, International Congress on Carboniferous and Permian Geology and Stratigraphy*, 13, *Abstracts*, Buenos Aires, **1**:98v.
- Pemberton, S.G. & Wightman, D.M. 1992. Ichnological characteristics of brackish water deposits. *In: Pemberton S.G. (ed.) Applications of Ichnology to Petroleum Exploration, a core workshop*, SEPM Core Workshop, Calgary, **17**: 141-167.
- Pemberton, S.G., MacEachern, J.A. & Saunders, T.D.A 2004 Stratigrafic applications of substrate-specific ichnofacies: delineating discontinuities in the rock record. *In: McIlroy, D. (ed.), The application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigrafic Analysis*, Geological Society of London, London, Special Publication, **228**:29-62.
- Pemberton, S.G., Spila, M., Pulham, A.J., Saunders, T., MacEachern, J.A., Robbins, D., Sinclair I.K. 2001. *Ichnology & sedimentology of shallow to marginal marine systems: Ben Nevis & Avalon reservoirs, Jeanne D'Arc Basin*, Geological Association of Canada, Short Course **15**, 343 p.
- Perkins, E.J. 1974. The biology of estuarines and coastal waters: Academic Press, London, 678p.
- Pinto, I.D. 1966. Geology of the State of Rio Grande do Sul -Brasil: synopsis. Mapa Publicação Especial, 11, UFRGS, Porto Alegre, 22p.
- Pollard, J.E., Goldring R. & Buck, S.G. 1993. Ichnofabrics containing *Ophiomorpha*: significance in shallow-water facies interpretation. *Journal of the Geological Society*, London, **150**:149-164.
- Putzer, H. 1954. Divisão da Formação Palermo no sul de Santa Catarina e tentativa de interpretação genética. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, **3**(1):1-28.
- Ramos, A.N. 1967. Análise estratigráfica da Formação Rio Bonito. *Boletim Técnico da Petrobrás*, Rio de Janeiro, 10 (**3/4**):357-407.
- Ranger, M.J. & Pemberton, S.G. 1992. The sedimentology and ichnology of estuarine point bars in the McMurray Formation of the Athabasca Oil Sands Deposit, northeastern Alberta, Canada. *In: Pemberton S.G. (ed.) Applications of Ichnology to Petroleum Exploration, a core workshop*, Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists, Core Workshop, **17**:401-421.
- Rees, E.I.S., Nicholaidou, A. & Laskeridou, P. 1977. The effects of storms on the dynamics of shallow water benthic associations. *In: Keegan, B.F., Ceidigh, P.O. & Boaden, P.J. (eds.) Biology of Benthic Organisms*, Oxford, Pergamon Press, p. 465-474.
- Remane, H.-E. & Schlieper, C. 1971. *Biology of brackish water*. Wiley, New York, 372p.

- Rhoads, D.C. & Morse, J.W. 1971. Evolutionary and ecologic significance of oxygen-deficient marine basins. *Lethaia*, **4**:413-428.
- Rocha-Campos, A. C. 1964. Contribuição a Estratigrafia da região de Taió, Santa Catarina. 64p. e anexos. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1964.
- Rocha-Campos, A.C. 1967. The Tubarão Group in the Brazilian portion of Paraná basin. In: J.J. Bigarella, R.D. Becker & I.D. Pinto (eds.). *Problems in the Brazilian Gondwana Geology*. International Symposium on the Gondwana Stratigraphy and Paleontology, Curitiba, **1**:27-95.
- Savrda, C.E. 1992. Trace fossils and benthic oxygenation. In: Maples, C.G., and West, R.R., eds. *Trace Fossils*: Paleontological Society, Short Course **5**, p.172-196.
- Savrda, C.E. & Bottjer, D.J. 1989. Trace fossil model for reconstructing oxygenation histories of ancient marine bottom waters: application to Upper Cretaceous Niobrara Formation, Colorado. *Palaeogeographic, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **74**:49-74.
- Savrda, C.E. & Nanson, L.L. 2003. Ichnology of fair-weather and storm deposits in an Upper Cretaceous estuary (Eutaw Formation, western Georgia, USA). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **202**:67-83.
- Santos, M.A., Gonçalves, A.R.L., Lorandi, R. 1990. Estudo faciológico do Supergrupo Tubarão na região da Barrocada (Cachoeira do Sul – RS). *Ciência e Natureza*, Santa Maria, **12**:41-46.
- Santos, P.R., Campos, A.C. & Canuto, J.R. 1996. Patterns of late Paleozoic deglaciation in the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **125**:165-184.
- Schneider, R.L., Mühlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R., Daemon, R.F., Nogueira, A.A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 28, *Anais*, Porto Alegre, **1**:41-65.
- Seilacher, A. 1964. Biogenic sedimentary structures. In: J. Imbrie & N.D. Newell (ed.), *Approaches to paleoecology*, John Wiley & Sons, New York, p. 296-316.
- Seilacher, A. 1967. Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology*, **5**:413-428.
- Severiano Ribeiro, H.J.P., Lavina, E.L.C., Lopes, R.C., Albuquerque, L.F.F., Rosa, A.A.S., Goldberg, K., Calarge, L.M., Colombo, M., Villegas, M.B., Bertei, S.R., Bocalon, V.L.S. 1993. Aplicação do conceito de parasseqüências na mina abandonada de carvão da Cascatinha, Bacia do Paraná, Município de Cachoeira do Sul/RS. In: SBG, Simpósio Sul-brasileiro de Geologia, *Boletim de Resumos*, **1**:51-52.
- Taylor, A.M. & Goldring, R. 1993. Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *Journal of the Geological Society*, London, **150**:141-148.
- Tognoli et al. 2001. Ciência Técnica do Petróleo – mesmo volume do Buatois et al., 2001
- Tognoli, F.M.W. 2002. Análise estratigráfica e paleoicnologia do Grupo Guatá no leste paranaense. Dissertação de Mestrado, UNESP/IGCE, Rio Claro, 90p.
- Tognoli, F.M.W. & Netto, R.G. 2003. Ichnological signature of Paleozoic estuarine deposits from the Rio Bonito-Palermo succession, eastern Paraná basin, Brazil. In: Asociación Paleontológica Argentina. *Publicación Especial*, Buenos Aires, **9**:141-155.
- White, I.C. 1908. Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil: relatório final de 1 de julho de 1904 a 31 de maio de 1906. In: DNPM Brasília, Seventh Gondwana Symposium, São Paulo, 1988, 620p.

Wignall, P.B. 1991. Dysaerobic trace fossils and ichnofabrics in the Upper Jurassic Kimmeridge Clay of southern England. *Palaios*, **6**:264-270.

Wilson, J. B. 1982. Shelly faunas associated with temperate offshore tidal deposits. *In*: A.H. Stride(Ed.). *Offshore Tidal Sands: Processes and Deposits*. Chapman & Hall, New York, 126-171.

8. ANEXOS

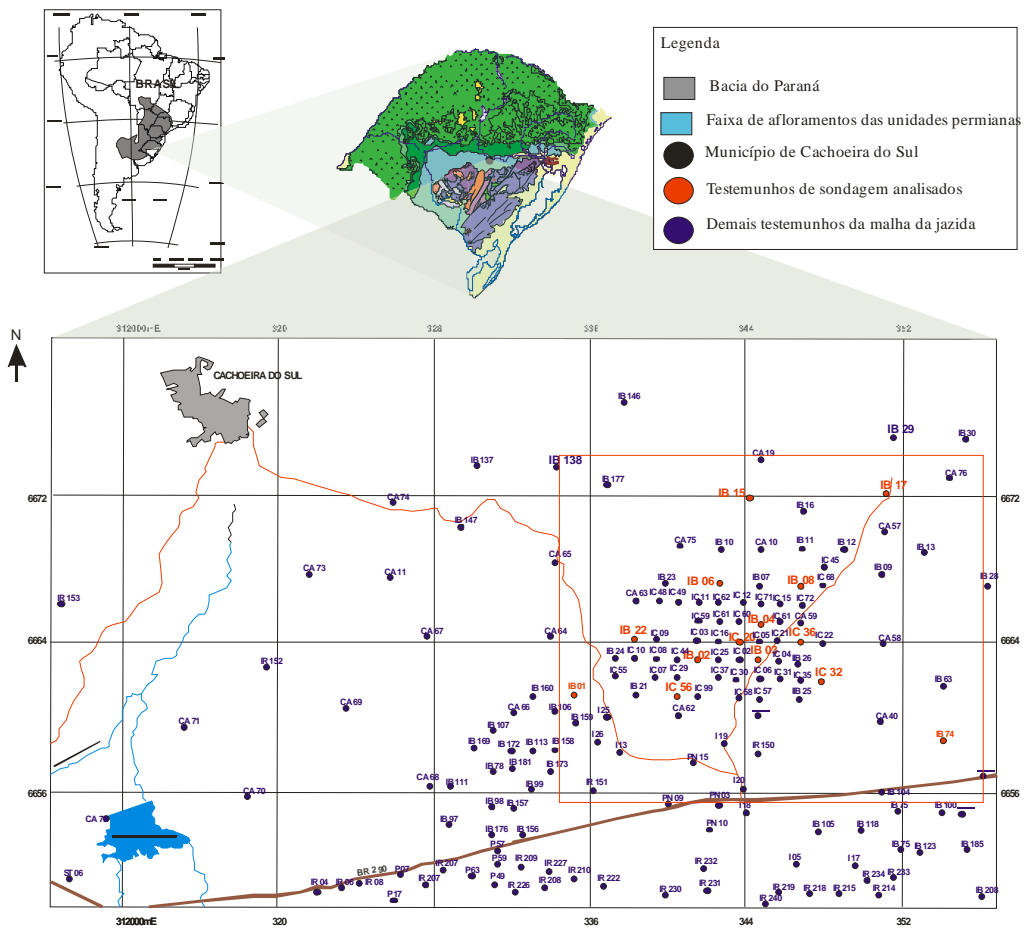


Figura1. Localização da área de estudo dentro da faixa de afloramentos permianos da Bacia do Paraná Rio Grande do Sul (modificado de Kern, 2008) e CPRM (2001).

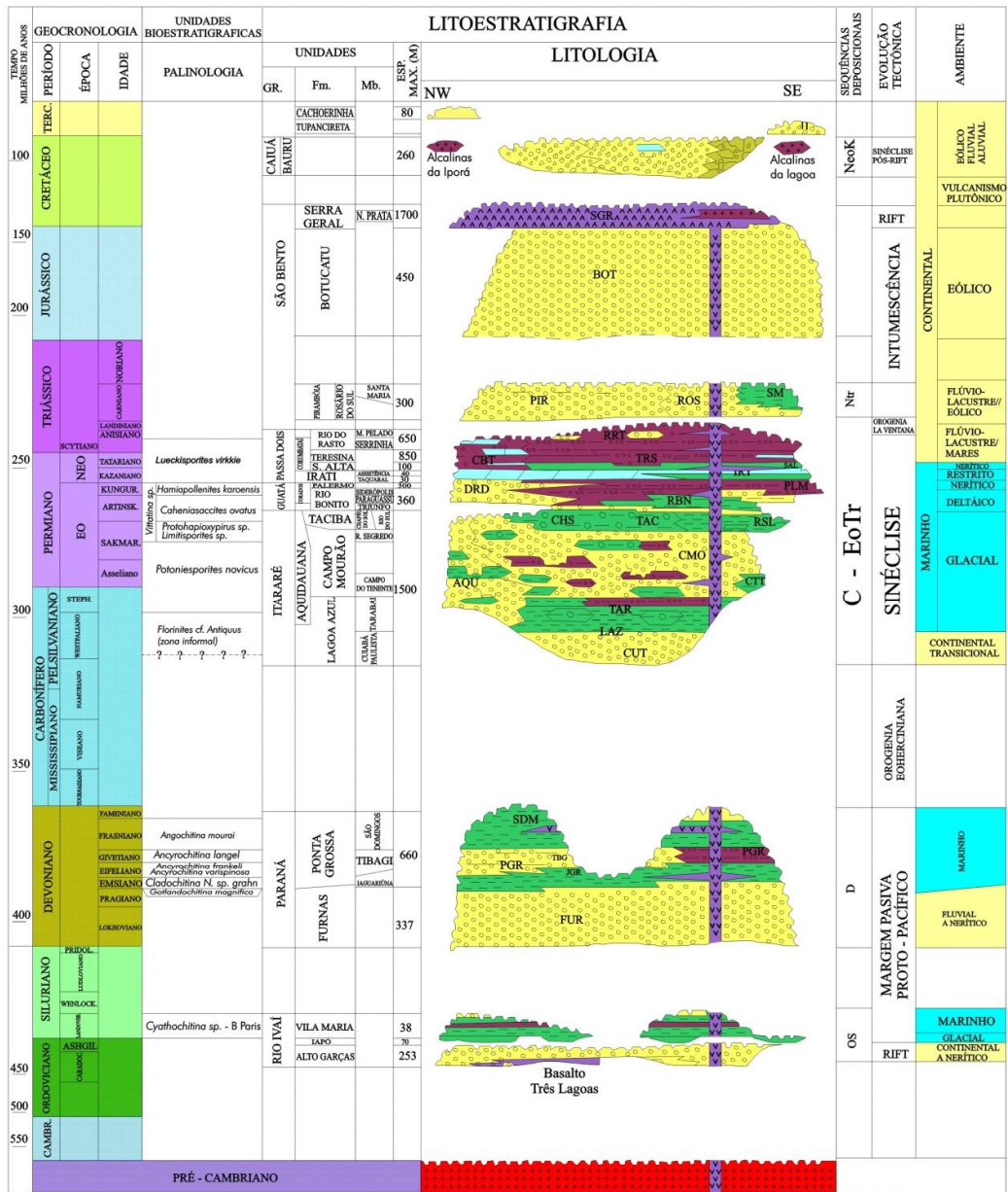


Figura 2. Carta estratigráfica da Bacia do Paraná (Milani *et al*, 1997).

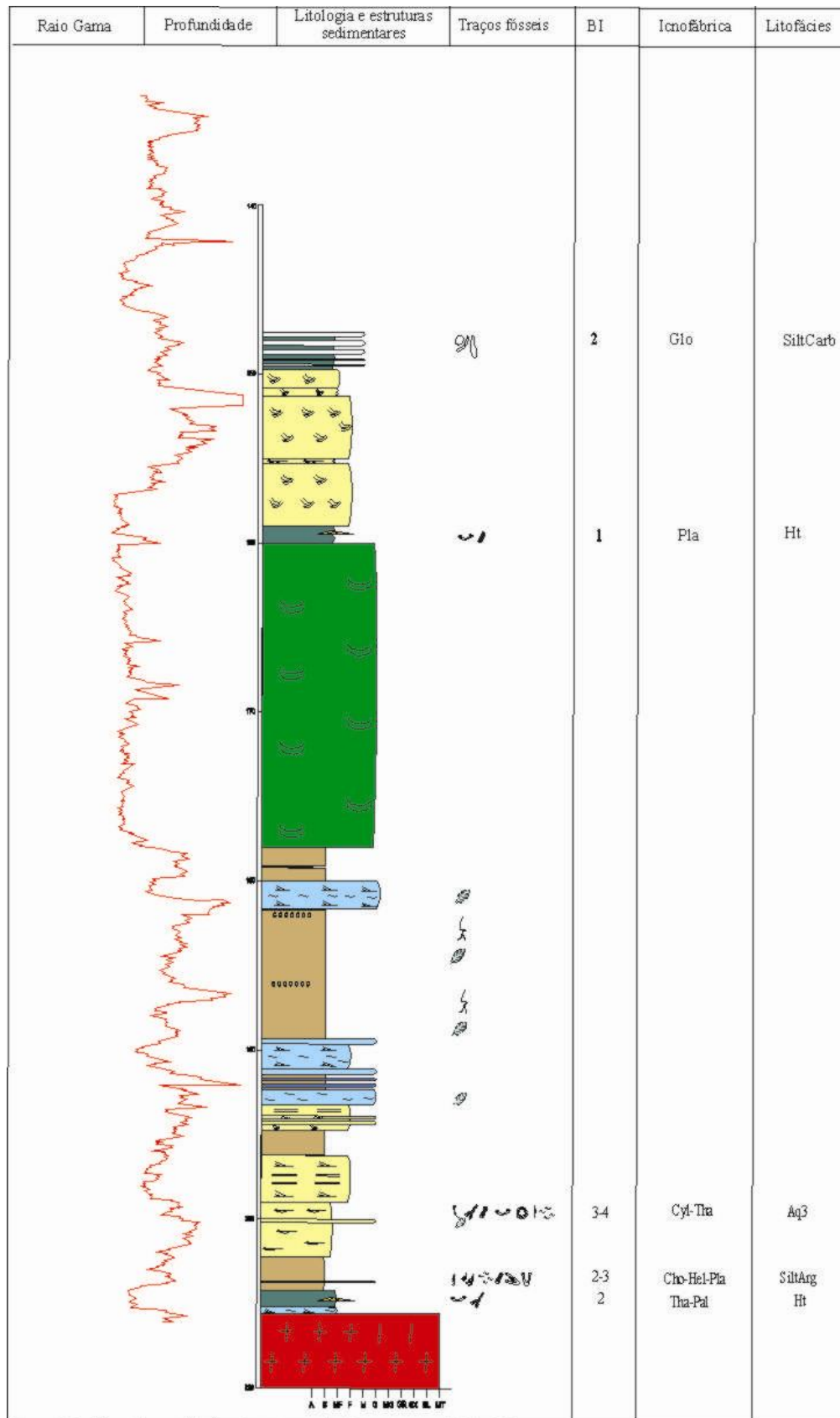
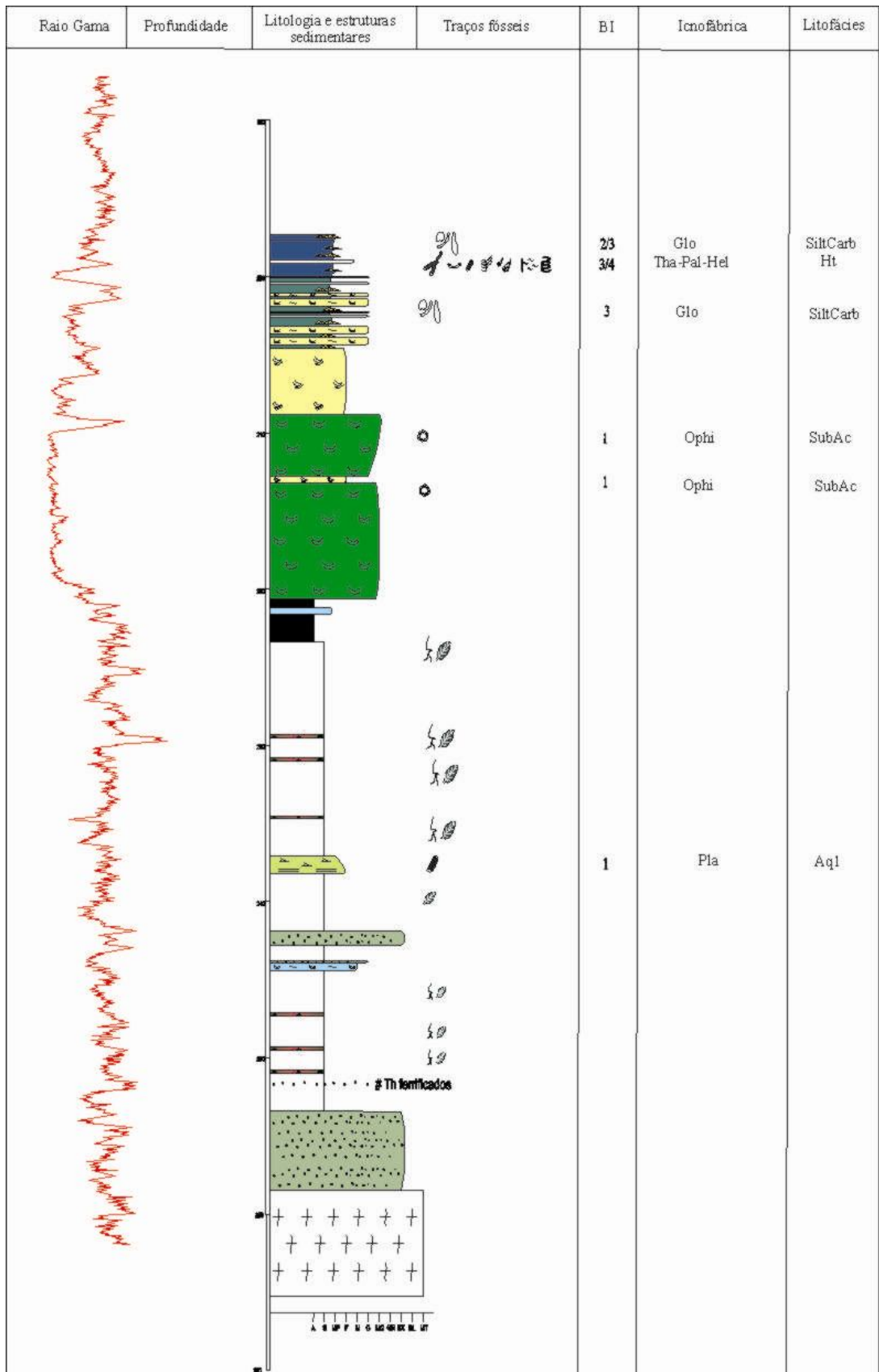


Figura 3. Perfil sedimentológico do testemunho de sondagem IB-01-RS.



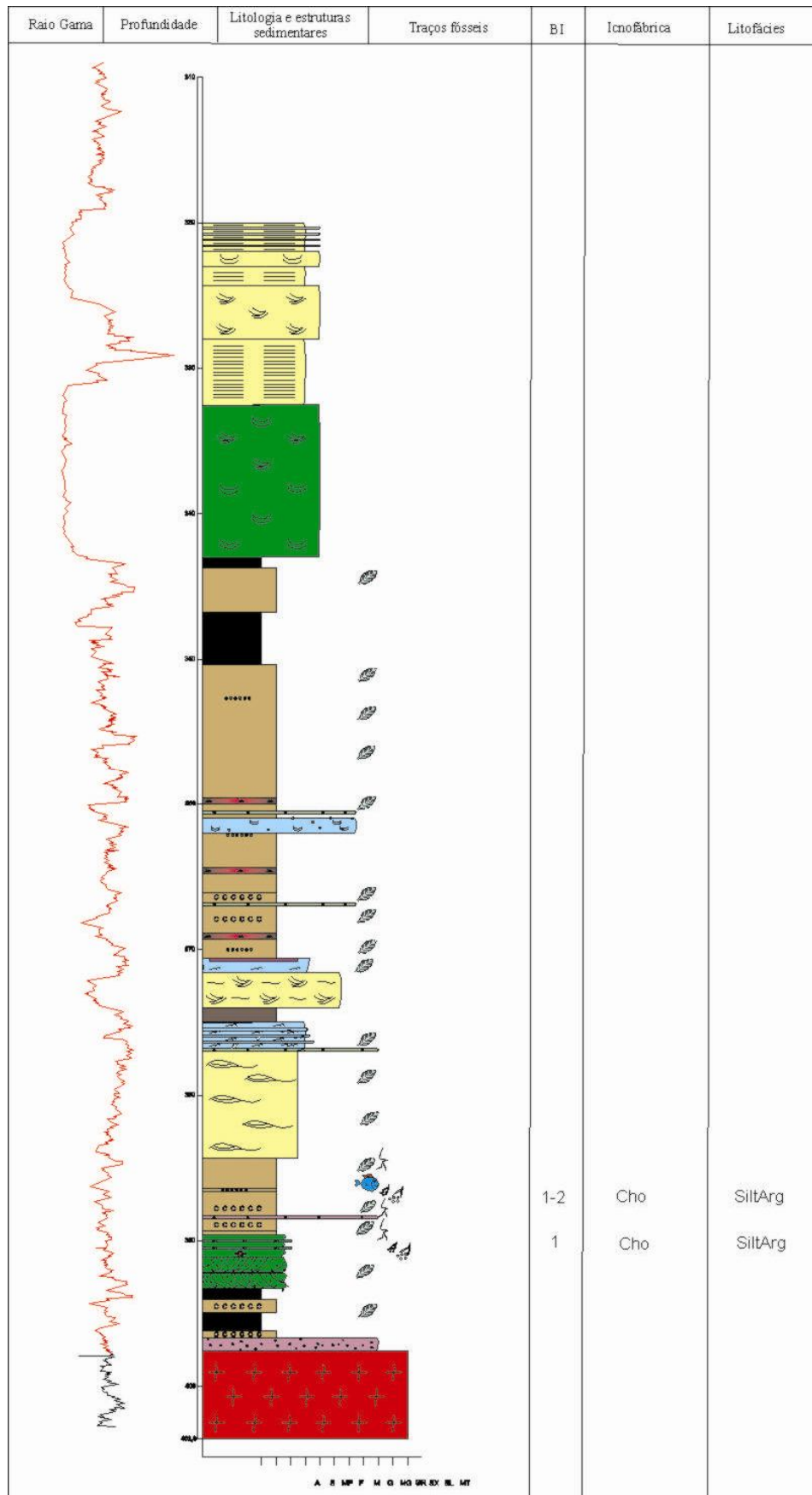


Figura 5. Perfil sedimentológico do testemunho de sondagem IB-17-RS.

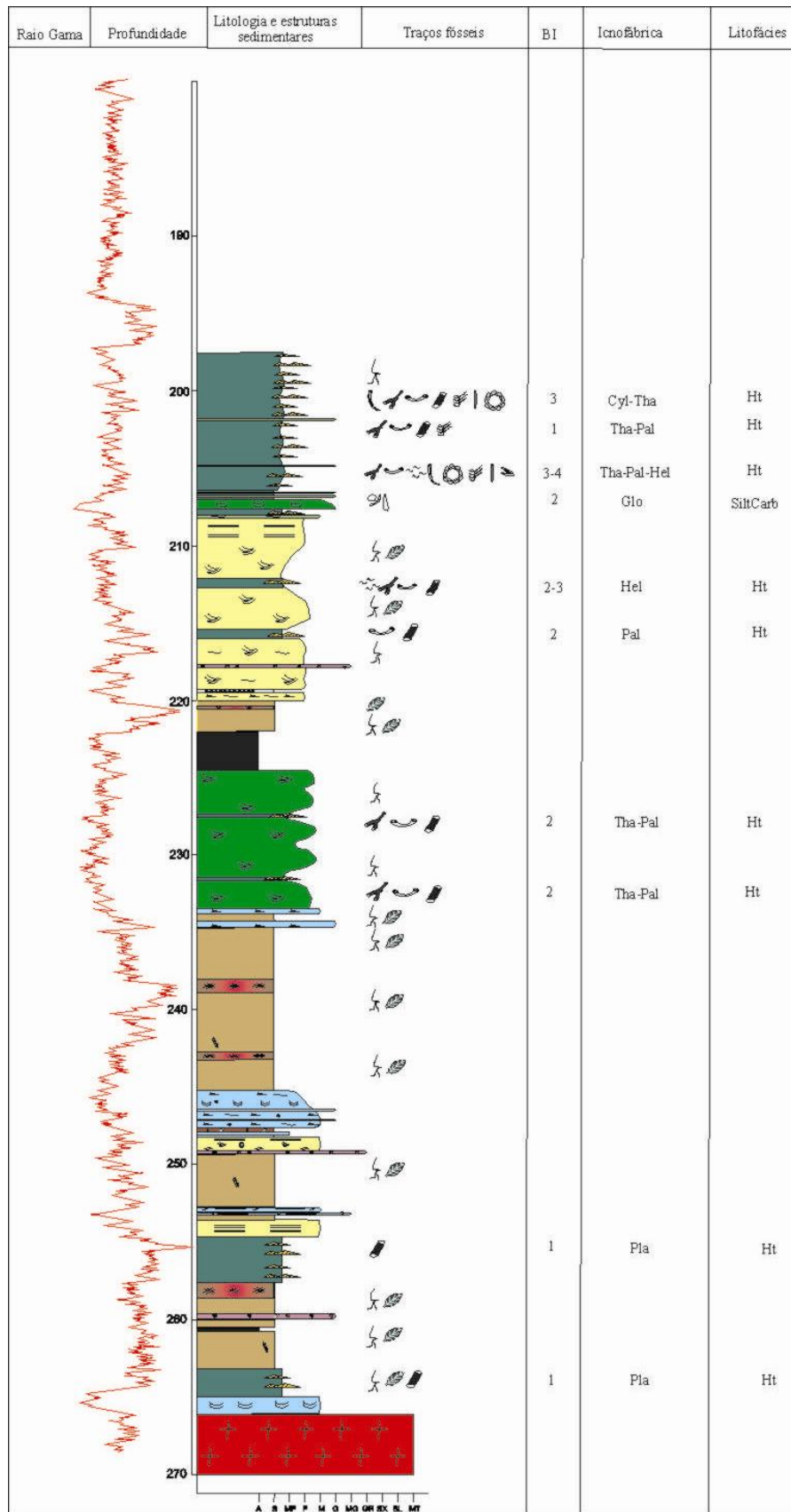


Figura 6. Perfil sedimentológico do testemunho de sondagem IB-22-RS.

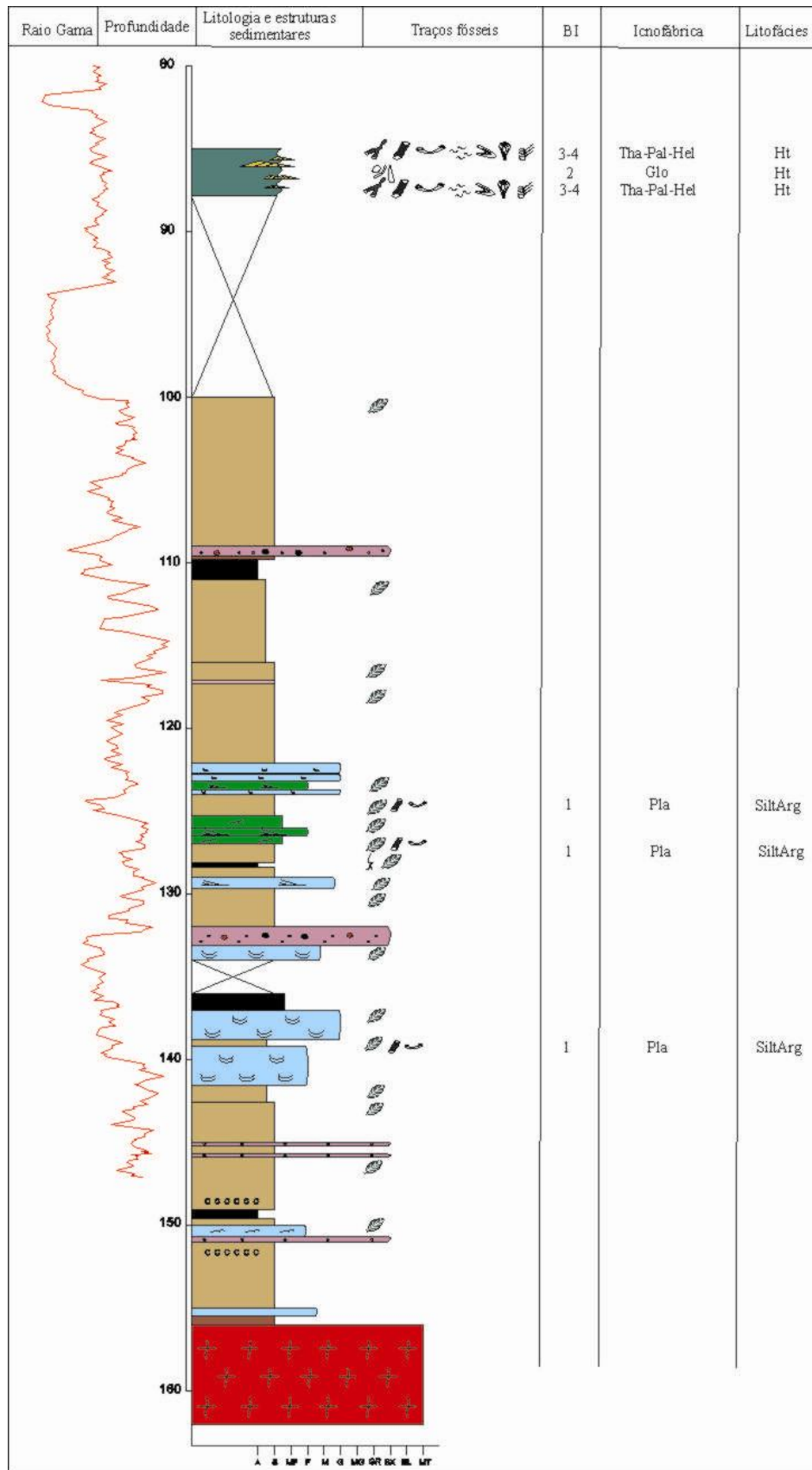


Figura 7. Perfil sedimentológico do testemunho de sondagem IB-74-RS.

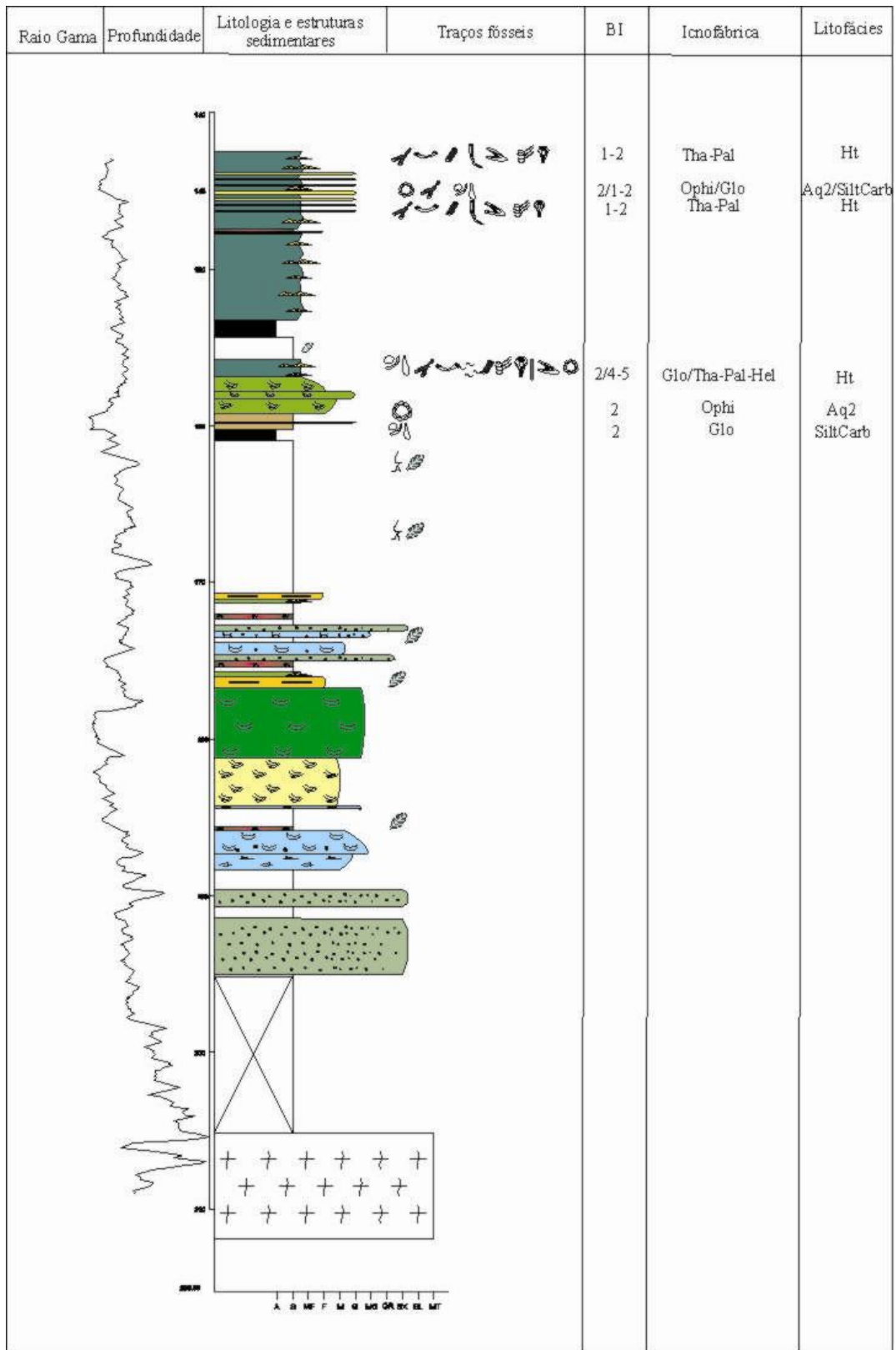


Figura 8. Perfil sedimentológico do testemunho de sondagem IC-32-RS.

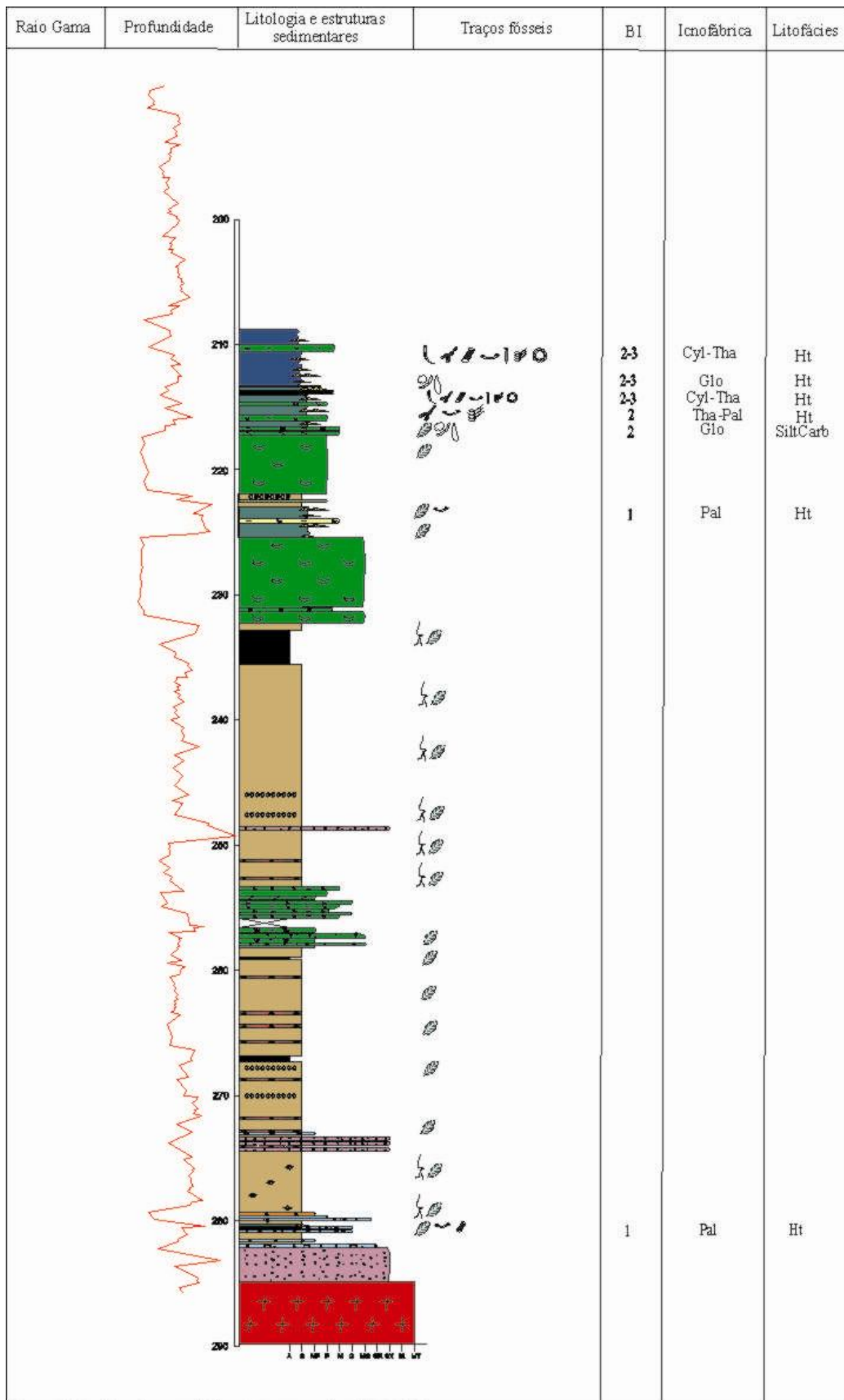


Figura 9. Perfil sedimentológico do testemunho IC-36-RS.

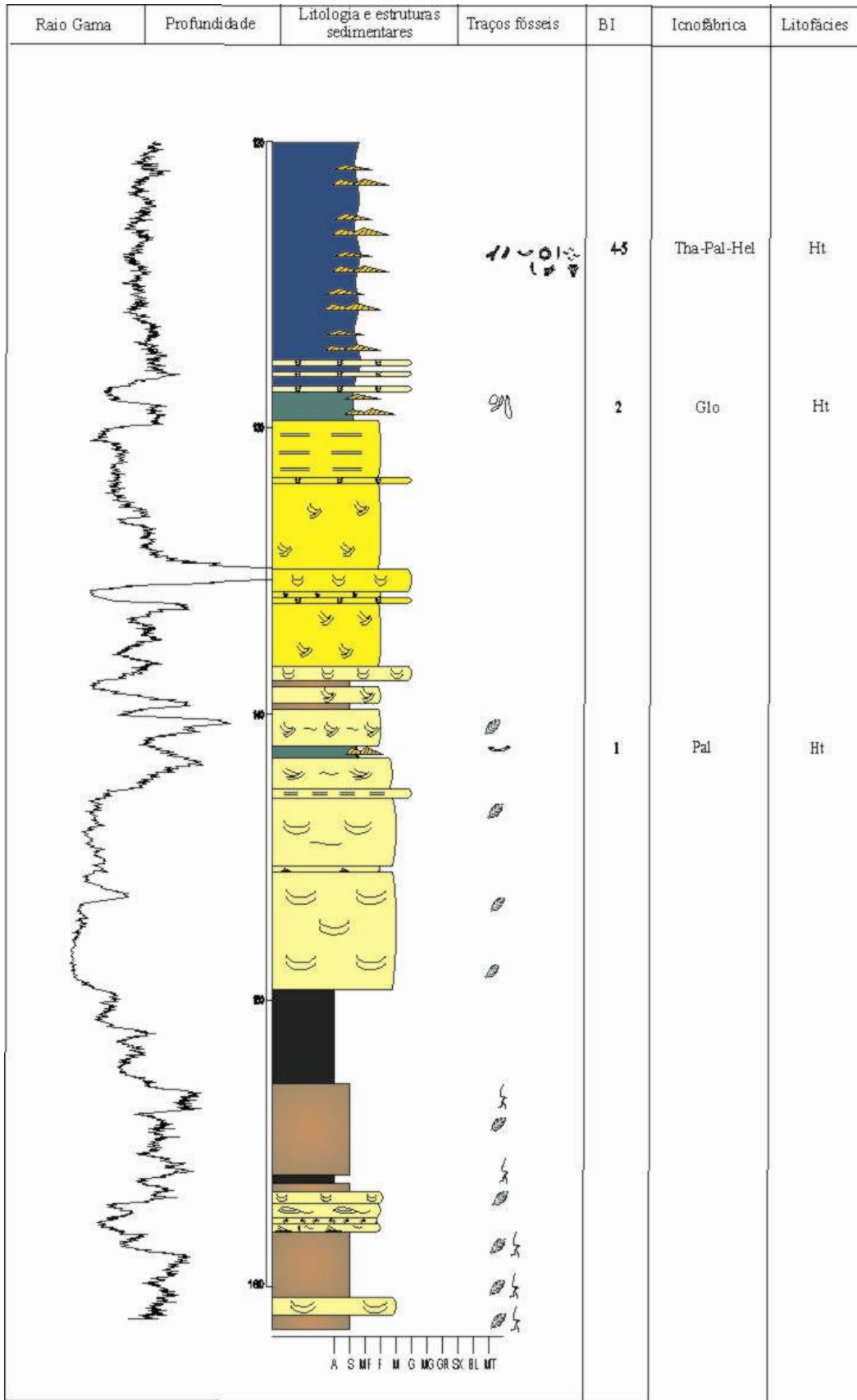


Figura 10. Perfil sedimentológico do testemunho de sondagem IC-56-RS.