

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA**

NÍVEL MESTRADO

HUGO SCHMIDT NETO

**ANÁLISE TAFONÔMICA, PALEOECOLÓGICA E CONTEXTUALIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL
DAS CONCENTRAÇÕES FOSSILÍFERAS DOS ARENITOS TAIÓ, SC**

**São Leopoldo
Agosto de 2013**

HUGO SCHMIDT NETO

**ANÁLISE TAFONÔMICA, PALEOECOLÓGICA E CONTEXTUALIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL
DAS CONCENTRAÇÕES FOSSILÍFERAS DOS ARENITOS TAIÓ, SC**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Geologia.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Renata Guimarães Netto
Co-orientador: Prof. Dr. Francisco Manoel Wohnrath Tognoli

**São Leopoldo
Agosto de 2013**

*Aos meus professores que me
guiaram pelos caminhos da ciência;
Aos meus alunos por sua
compreensão;
A minha esposa por sua eterna
paciência...*

S353a Schmidt Neto, Hugo

Análise tafonômica, paleoecológica e contextualização paleoambiental das concentrações fossilíferas dos arenitos Taió, SC / por Hugo Schmidt Neto. -- São Leopoldo, 2013.

vii, 82 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Geologia, São Leopoldo, RS, 2013.

Orientação: Prof^a Dr^a Renata Guimarães Netto ; Coorientação: Prof. Dr. Francisco Manoel Wohnrath Tognoli, Ciências Exatas e Tecnológicas.

1.Paleoecologia. 2.Invertebrado fóssil – Taió (SC). 3.Invertebrado marinho – Taió (SC). 4.Tafonomia. I.Netto, Renata Guimarães. II.Tognoli, Francisco Manoel Wohnrath. III.Título.

CDU 56:574

Catálogo na publicação:

Bibliotecária Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252

AGRADECIMENTOS

1. A CAPES pelo apoio na forma da bolsa de estudo que permitiu a realização desse trabalho;

2. Ao CNPq pelo apoio financeiro que custeia o projeto “*A deglaciação do Gondwana e a colonização de novos ecoespaços: implicações paleoecológicas e bioestratigráficas na bacia do Paraná*” (projeto nº 401826/2010-4).

3. Prefeitura do município de Taió pelo apoio as pesquisas desenvolvidas na região.

4. Aos proprietários dos sítios que gentilmente abriram suas portas permitindo nossa entrada e estudo em suas

5. Aos colegas Alex B. Duarte e Samuel H. Noll pelo apoio técnico.

6. Ao professor Elvio P. Bosetti por seus ensinamentos em tafonômia.

7. A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Unisinos por cederem seu tempo para nos ensinar seus conhecimentos.

8. A minha maestra Renata Guimarães Netto por tornar realidade os esforços de meu trabalho.

RESUMO

No município de Taió, Santa Catarina, o Membro Paraguaçu apresenta uma expressiva fauna de invertebrados marinhos contidos em camadas de areias muito finas, denominadas informalmente de Camadas Taió. Sua assembleia se desenvolveu em um período pós-glacial e foi influenciada pelas condições do degelo do final do Grupo Itararé. Assim o presente trabalho teve como objetivo realizar a análise paleoecológica destes depósitos a fim de elucidar o impacto do aporte de águas de degelo no mar Taió. Para tanto foi realizado um estudo tafonômico dos repositórios das instituições científicas do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, tal como dos registros fósseis nos afloramentos (*in loco*). Os perfis das sucessões sedimentares, das áreas fossilíferas foram correlacionados a partir da comparação de suas fácies. As assinaturas tafonômicas mostram sinais de pouco transporte e rápido soterramento, com pouca colonização dos bioclastos por organismos espongiários. O padrão de ocorrência da biofábrica *Rosselia* isp. indica a ação de eventos de tempestade e alta frequência sedimentar. Uma maior quantidade de restos vegetais na base da sucessão indica uma maior proximidade da costa, enquanto formas diminutas de moluscos e equinodermos, ocorrentes nas fácies que sugerem uma zona de *shoreface*, indicam águas de baixas temperaturas. Os dados alcançados neste trabalho indicam que as águas do degelo do final do Carbonífero continuaram impactando a fauna marinha do Mar Paraguaçu pela flutuação de sua salinidade e de seu condicionamento a baixas temperaturas.

Palavras-chave: Mar Paraguaçu, invertebrados, paleoecologia, tafonômia.

ABSTRACT

At the Taio city, Santa Catarina State, the Paraguassu Member presents a significant marine invertebrate fauna contained in layers of very fine sand, informally designed Layers Taio. Its congregation has developed into a post-glacial conditions was influenced by the melting of the final Itararé Group. Thus, the present study aimed to conduct paleoecological analysis of these deposits in order to elucidate the impact of the inflow of water from melting sea Taio. Therefore, went make a taphonomic study of repositories of scientific institutions of Rio Grande do Sul, Santa Catarina and São Paulo states, as the fossil record in outcrops (in situ). The profiles of sedimentary successions, fossiliferous areas were correlated from the comparison of their facies. The taphonomic signatures show little signs of rapid transportation and burial, with little colonization by organisms of bioclasts sponges. The pattern of occurrence of biofabric *Rosselia* isp. indicates the action of storm events and high-frequency sediment. A larger quantity of plant debris on the basis of the sequence indicates closer proximity to the coast, while forms tiny molluscs and echinoderms, suggesting facies that occur in a zone of shoreface indicate low water temperatures. The data obtained in this work indicate that the waters of the melting of the end of the Carboniferous continued impacting the marine fauna of the Sea Paraguaçu by floating its salinity and his conditioning at low temperatures.

Key words: Paraguaçu sea, invertebrate, palaeoecology, taphonomy.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Situação geográfica e geológica da área de estudo. **A**, mapa de localização dos afloramentos estudados; **B**, carta cronolitoestratigráfica da Supersequência Gondwana I (adaptada de Milani *et al.*, 2007).....12
- Figura 2. Representação esquemática do empilhamento sedimentar da porção do Membro Paraguaçu (Formação Rio Bonito) aflorante na área de estudo (afloramentos Alaor, Valmir Catoni, Knut, Gentil, Morro Kraemer e Pitola).....13
- Figura 3. Fácies sedimentares da sucessão sedimentar do Membro Paraguaçu exposta na área de estudo.....16
- Figura 4. Componentes da assembleia fossilífera de Taió.....20
- Figura 5. Bioerosões observadas nas valvas de *Heteropecten catharinae*.....29

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Comparação das colunas estratigráficas apresentadas por White (1908), Rocha-Campos (1967) e Schneider et al. (1974) para as camadas permocarboníferas da Bacia do Paraná, na região de Santa Catarina.....6

SUMÁRIO

RESUMO	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	VII
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. METODOLOGIA	2
4. SÍNTESE SOBRE O CONHECIMENTO GEOLÓGICO E PALEONTOLÓGICO DOS ARENITOS TAIÓ	5
5. GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO	12
6. TAXONOMIA DA ASSEMBLEIA FÓSSIL DE TAIÓ	17
7. BIOEROSÕES EM VALVAS DE <i>HETEROPECTEN CATHARINAE</i>	25
7.1. ICNOTAXONOMIA	25
7.2. DISCUSSÃO	29
7.3. CONCLUSÕES	31
8. ANÁLISE TAFONÔMICA DAS CONCENTRAÇÕES FOSSILÍFERAS DO MEMBRO PARAGUAÇU (FORMAÇÃO RIO BONITO) AFLORANTES EM TAIÓ, SANTA CATARINA, SUL DO BRASIL	32
9. ANÁLISE PALEOECOLÓGICA DA ASSEMBLEIA FOSSILÍFERA DE TAIÓ (BACIA DO PARANÁ, S BRASIL)	64
9.1. INTRODUÇÃO	64
9.2. ASSEMBLEIA FOSSILÍFERA DE TAIÓ	65
9.3. ANÁLISE PALEOECOLÓGICA E PALEOAMBIENTAL	66
10. CONCLUSÕES	71
11. REFERENCIAS	72

1. INTRODUÇÃO

Os depósitos referentes ao Paleozoico Superior que ocorrem dentro da porção sul da Bacia do Paraná têm sido estudados desde o início do século vinte, a exemplo o “*Systema de Santa Catarina*” (White, 1908). Estes depósitos registraram acúmulos gerados em eventos de glaciação e deglaciação que, na região sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), está registrado no topo do Grupo Itararé. Os depósitos da Formação Rio Bonito marcam o início de um *trend* transgressivo pós-glacial que atingiu a máxima inundação no Artinskiano e encerrou-se com o estabelecimento de depósitos continentais na passagem permotriássica (Milani et al., 2007). As assembleias fósseis de invertebrados preservadas nas rochas do Paleozoico Superior na bacia, tanto nos depósitos glaciais quanto pós-glaciais, têm sido comparadas com faunas fósseis equivalentes de outras regiões gonduânicas e atribuídas a ambientes de águas frias (e.g., Beurlen, 1954; Dickins, 1961; Rocha-Campos, 1967; Runnegar, 1979; Rocha-Campos e Rösler, 1978). Estudos paleoecológicos dos depósitos de deglaciação do Gondwana Oeste a partir da análise paleoicnológica sugerem que a deglaciação aportou um volume muito grande de águas nos mares gonduânicos, impactando os ambientes mais costeiros e a distribuição das biotas nesses paleoecossistemas (e.g., Buatois et al., 2006, 2010; Netto et al., 2009). Assim, apesar da rica assembleia fóssil vegetal registrada no topo do Grupo Itararé e na base da Formação Rio Bonito representarem um melhoramento climático para a passagem Carbonífero-Permiano, os ambientes marinhos continuavam sendo condicionados pelo aporte das águas do degelo. Uma vez que a fauna dos Arenitos Taió, encontrada na porção média da Formação Rio Bonito (Membro Paraguaçu; Schneider et al., 1974; Milani et al., 2007), representa o primeiro registro fóssil da vida marinha no contexto pós-glacial na bacia do Paraná, acredita-se que estes organismos tenham sido diretamente influenciados por esse aporte. No entanto, estudos focados no entendimento de como e com que intensidade essa fauna teria sido impactada, e de quanto às condições ambientais vigentes foram determinantes para a distribuição das biotas marinhas – que, ao contrário dos vegetais, poderiam deslocar-se para outras zonas possivelmente menos impactadas – ainda são escassos.

Assim, com o propósito de levantar e discutir estas circunstâncias, a assembleia fossilífera dos Arenitos Taió é alvo de estudo dessa dissertação. A análise tafonômica dessa assembleia e dos aspectos paleossinecológicos que reflete permitiu uma contextualização mais acurada das condições ambientais nas quais se formaram os depósitos do mar Paraguaçu.

2. OBJETIVOS

a) Reconstruir as condições sincológicas vigentes à época da deposição das camadas marinhas paleozoicas que afloram na região de Taió (Santa Catarina).

b) Caracterizar a paleoecologia dos depósitos, a partir da fauna fóssil de invertebrados preservada.

c) Avaliar o impacto da deglaciação do Gondwana na composição da assembleia de invertebrados marinhos que habitaram o mar Taió e em sua distribuição ambiental.

3. METODOLOGIA

O material estudado nesse trabalho provém de afloramentos situados na zona oeste do município de Taió (Estado de Santa Catarina, Figura 1A) e rastreados a partir do estudo de Rocha-Campos (1964). Para identificá-los, adotou-se o nome do proprietário; apesar de não ser uma metodologia convencional, é bastante útil para estudos na região, já que as propriedades passam de pai para filho e a comunidade local é bastante atenta às ocorrências fósseis. A amostragem foi complementada com material previamente coletado nos afloramentos estudados e tombado nas coleções do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (São Paulo), do Museu Paleo-Arqueológico e Histórico Prefeito Bertoldo Jacobsen (Taió, Santa Catarina), do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (Porto Alegre, Rio Grande do Sul) e do Museu da História da Vida e da Terra da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (São Leopoldo, Rio Grande do Sul). O material analisado da coleção do IG/USP inclui os tipos estudados por Rocha-Campos (1964, 1970). A identificação taxonômica dos fósseis foi realizada apenas para fins de caracterização da diversidade e composição da assembleia fossilífera e está embasada na revisão taxonômica realizada por Rocha-Campos (1970) e Rocha-Campos & Simões (1993), para os moluscos e braquiópodes, e em Spencer & Wright (1966), para os equinodermos. A taxonomia dos

fósseis corpóreos que compõem a assembleia fossilífera de Taió é apresentada no capítulo 6. A descrição e identificação icnotaxonômica dos icnofósseis presentes na assembleia fossilífera de Taió teve por base os estudos de De Laubenfels (1955), Häntzschel (1975), Bromley & D'Alessandro (1983), Nara (1995), Tapanila (2006), Tognoli (2006) e Netto et al. (2012). A caracterização detalhada da icnofauna é abordada no capítulo 7 dessa dissertação.

Para fins de caracterização estratigráfica da assembleia fossilífera de Taió, os afloramentos que foram alvo deste estudo (Figura 1A) foram descritos em escala de alta resolução (centimétrica), individualizando-se e caracterizando-se as fácies sedimentares, seu empilhamento, suas relações de contato e recorrência.

A análise tafonômica dos dados *in loco* (concentrações fossilíferas em afloramentos) seguiu os conceitos propostos por Kidwell et al. (1986) e o protocolo tafonômico/paleoautoecológico de Simões & Ghilardi (2000). O tratamento das assinaturas tafonômicas foi baseado nos conceitos propostos por Johnson (1960), Kidwell et al. (1986) e Fürsich & Oschmann (1993). Utilizou-se um quadrado de 1 m x 0,7 m para a coleta orientada, cuja prospecção se deu da esquerda para direita e da parte inferior para a superior, no afloramento Knut (Figura 1A). Este afloramento foi escolhido para a aplicação da técnica de quadrado por apresentar uma sucessão vertical baixa, mostrando variações litológicas que favorecem o mapeamento dos níveis fossilíferos dentro das camadas. Para a definição de tamanho dos bioclastos, adotou-se o seguinte critério, baseado na medida do comprimento das valvas de moluscos e no diâmetro das valvas de braquiópodes e do corpo de equinodermas (incluindo apêndices): anões (≤ 5 mm), pequeno (≥ 5 mm e ≤ 10 mm), médio (≥ 10 mm e ≤ 40 mm) e grande (≥ 40 mm). A distinção da orientação da convexidade das valvas nas amostras de coleções somente foi considerada quando ambas ocorriam de forma conjunta, devido à impossibilidade de inferir base e topo das camadas, já que não foram coletadas originalmente para fins de estudos tafonômicos.

Os resultados obtidos a partir da análise tafonômica e paleoecológica da assembleia fossilífera de Taió apesar de serem suficientes para a produção de três artigos, são apresentados aqui como os capítulos 7, 8 e 9 dessa dissertação, estando somente o capítulo 8 estruturado na forma de artigo, segundo as normas da Revista Brasileira de Paleontologia.

O capítulo 7 relata a ocorrência ainda inédita de bioerosões nas valvas de *Heteropecten catharinae*, sua implicância tafonômica e o registro indireto de

invertebrados que coexistiram com a fauna conchífera, mas que não deixaram registro fóssil corpóreo. Por se tratar de um estudo de interesse internacional, pretende-se submeter o referido trabalho ao *Journal of Paleontology*. O capítulo 8 foi submetido à *Revista Brasileira de Paleontologia* por se tratar do primeiro estudo tafonômico de maior detalhe da fauna fóssil dos Arenitos Taió, sendo assim, este capítulo é apresentado no formato de artigo, respeitando as configurações exigidas pela referida revista. O capítulo 9 aborda a análise paleoecológica e a contextualização paleoambiental da assembleia fossilífera de Taió, embasada pela análise faciológica e palinofaciológica (a partir de Staudt, 2013) das camadas que compõem os Arenitos Taió, e pela análise tafonômica e paleoecológica das concentrações fossilíferas ali presentes. Idealiza-se submeter este terceiro artigo à *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, por abordar um estudo que avalia o impacto da deglaciação do Gondwana nas biotas marinhas, o que lhe confere um interesse internacional.

Os presentes artigos são apresentados em português para receberem as devidas correções. Após os ajustes sugeridos os artigos serão traduzidos para a língua inglesa a fim de cumprir o objetivo de submetê-los a referidas revistas.

4. SÍNTESE SOBRE O CONHECIMENTO GEOLÓGICO E PALEONTOLÓGICO DOS ARENITOS TAIÓ

Os Arenitos Taió são um conjunto de camadas predominantemente arenosas aflorantes no município de Taió (SC) e que contém um abundante registro de invertebrados fósseis conhecidos como Fauna de Taió e tratado nessa dissertação como assembleia fossilífera de Taió. Essas camadas pertencem à porção média da Formação Rio Bonito (Membro Paraguaçu), Bacia do Paraná, e foram descritas de forma mais detalhada pela primeira vez por Rocha-Campos (1964), em estudo focado na assembleia fossilífera.

A Bacia do Paraná é uma vasta bacia sedimentar de forma elíptica, com eixo maior no sentido N-S e que, segundo Milani et al. (2007), apresenta um contorno atual definido por limites erosivos. Com uma extensão aproximada de $1,5 \cdot 10^6 \text{ km}^2$, situa-se em grande parte em território brasileiro e uma diminuta porção se estende sobre o Paraguai oriental, o nordeste da Argentina e o norte do Uruguai (Milani et al., 2007). Seu preenchimento consiste de cerca de 5.000 m de sedimentos paleozoicos, mesozoicos, lavas basálticas e, de forma local, rochas cenozoicas (Schneider et al., 1974; Milani et al., 2007). Entretanto, o posicionamento cronoestratigráfico dos sedimentitos da Bacia do Paraná ainda apresenta muitas lacunas, por não possuir elementos bioestratigráficos de amarração às escalas internacionais de tempo geológico (Milani et al., 2007).

Milani et al. (2007) organizaram os dados disponíveis sobre a estratigrafia da Bacia do Paraná no âmbito da estratigrafia de sequências, compartimentando-a em seis supersequências de segunda ordem: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). As supersequências paleozoicas refletem ciclos transgressivo-regressivos controlados por oscilações na orientação e intensidade do vetor associado a geração de espaço de acomodação da bacia.

As rochas que são objeto desse estudo pertencem à Supersequência Gondwana I, que representa a materialização completa de um ciclo transgressivo-regressivo e engloba o maior volume sedimentar da bacia. Esta unidade apresenta em sua base

(Carbonífero) depósitos diretamente influenciados pelo degelo, alcançando máxima inundação no Artinskiano (porção média-topo) e sendo colmatada pelos depósitos continentais mesozoicos. A Supersequência Gondwana I encerra os pacotes sedimentares do Grupo Itararé e da Formação Aquidauana, dos grupos Guatá e Passa Dois e das formações Pirambóia e Sanga do Cabral (Figura 2) (Milani et al., 2007).

Durante o Pensilvaniano, o Gondwana sul-ocidental foi um sítio de extensa glaciação continental, com geleiras que atuaram como efetivos inibidores deposicionais e de acumulações sedimentares, que por fim resultou na lacuna deposicional entre os estratos devonianos da Formação Ponta Grossa e os pensilvanianos do Grupo Itararé (Milani et al., 2007). Assim, a base da Supersequência Gondwana I (Supergrupo Tubarão) está diretamente ligada aos eventos de deglaciação ocorridos no Gondwana ao final desse período (Figura 1B), que acarretaram a subida do nível relativo do mar, que, por sua vez, provocou a transgressão permiana caracterizada nos depósitos do Grupo Guatá (Lavina & Lopes, 1986).

O Supergrupo Tubarão (Schneider et al., 1974) compreende os depósitos do Grupo Itararé e Grupo Guatá (Tabela 1), representando o registro dos depósitos glaciomarinheiros da Bacia do Paraná. Esses depósitos abrigam um registro significativo de fósseis de invertebrados marinhos, de registros icnológicos e de fósseis de vertebrados, composto por peixes paleoniscídeos, celacantídeos *Ctenacanthus gondwanus* (Santos, 1947 in Rocha-Campos, 1970) e répteis mesossaurídeos (Beurlen, 1954). Com igual significância, deve se citar a típica paleoflora *Glossopteris* (Beulen, 1954; Rocha-Campos, 1970; Rocha-Campos & Rösler, 1978).

Tabela 1. Comparação das colunas estratigráficas apresentadas por White (1908), Rocha-Campos (1967) e Schneider et al. (1974) para as camadas que afloram na região de Santa Catarina.

White (1908)		Rocha-Campos (1967)		Schneider et al. (1974)			
Systema de Santa Catarina	Série São Bento		Grupo Tubarão	Sub Grupo Guatá	Form. Rio Bonito	Form. Rio Bonito	Membro Siderópolis
	Série Passa Dois						Membro Paraguaçu
	Série Tubarão	Schistos Palermo					Membro Triunfo
		Schistos e grés Rio Bonito	Sub Grupo Itararé	Form. Rio do Sul			
		Congl. Orleans		Form. Mafra			
	Grés amarello e schistos até o granito	Form. Aquidauana					
				Super Grupo Tubarão	Grupo Guatá	Form. Rio Bonito	Form. Campo do Tenente

O Grupo Itararé contém os depósitos glaciogênicos carboníferos preservados na Bacia do Paraná, representados por ritmitos, diamictitos e tilitos (Rocha-Campos, 1964; Vesely & Assine, 2006; Milani et al., 2007). Em superfície, é composto pelas formações Campo do Tenente, Aquidauana, Mafra e Rio do Sul (Schneider et al., 1974), enquanto que em subsuperfície são reconhecidas as unidades Campo Mourão, Lagoa Azul e Taciba (França & Potter, 1988).

Os eventos finais de deglaciação do Gondwana compõem a unidade de topo desse grupo (Formação Rio do Sul/Taciba), composta por sedimentitos predominantemente lamosos. Assembleias fósseis compostas por táxons de hábito preferencialmente marinho estenoalino são comuns nos intervalos mais finos dessa sucessão, sendo registrados nos Folhelhos Lontras (base da Formação Rio do Sul/Taciba em Santa Catarina), no horizonte de Teixeira Soares (leitos Baitaca, Rio d'Areia e Passinho, Paraná) com fósseis de braquiópodes, pelecípodes, inclusive aviculopectinídeos (*Prosopecten*, *Limipecten* e *Aviculopecten*) e restos do gênero *Schizodus*, gastrópodes, foraminíferos, restos de peixes e insetos (Beurlen, 1954), e em Bela Vista do Sul, com fósseis de braquiópodes, pelecípodes, e gastrópodes (Rocha-Campos, 1967; Schneider et al., 1974).

O Grupo Guatá (Gordon Jr., 1947) constitui-se de siltitos cinza, esverdeados e de arenitos com intercalações de camadas de carvão e folhelhos carbonosos dispostos verticalmente. Segundo a proposta estratigráfica de Gordon Jr. (1947), o Grupo Guatá corresponderia aos sedimentitos pós-glaciais do Paleozoico Superior da Bacia do Paraná, sendo representado pelas formações Rio Bonito e Palermo. De acordo com o autor, o limite entre ambas as formações seria de difícil reconhecimento na região de Taió. Porém, Rocha-Campos (1970) distinguiu uma sequencia arenosa inferior relativamente espessa nessa região, que corresponderia à Formação Rio Bonito, e um pacote superior síltico, que representaria a Formação Palermo.

White (1908) realizou os trabalhos pioneiros nas chamadas camadas Rio Bonito ao estudar o conjunto de arenitos, folhelhos e leitos de carvão que constitui o pacote sedimentar assentado sobre o Grupo Itararé. Este conjunto sedimentar é constituído por uma porção basal arenosa, uma porção média essencialmente argilosa, e uma porção superior areno-argilosa, que contém os principais leitos de carvão (Schneider et al., 1974). A Formação Rio Bonito foi informalmente dividida por Medeiros et al. (1971) e

Thomaz Filho & Medeiros (1972) em três intervalos, denominados respectivamente de inferior, médio e superior, denominados por Schneider et al. (1974) como Membro Triunfo, Membro Paraguaçu e Membro Siderópolis, respectivamente. O Membro Triunfo marca a base da Formação Rio Bonito, sendo composto predominantemente por sedimentitos arenosos e tendo como principais estruturas sedimentares estratificação cruzada, planar e acanalada, sugerindo deposição em ambiente fluviodeltaico. O Membro Paraguaçu representa uma transgressão marinha sobreposta aos depósitos continentalizados da base da formação e ocorre em toda a borda leste da bacia, desde o sul de Santa Catarina até o sul de São Paulo. Em conjunto com o Membro Siderópolis, caracteriza uma gama variada de depósitos marinhos plataformais, litorâneo-costeiros e continentais (Beurlen, 1954; Rocha-Campos, 1964; Schneider et al., 1974; Tognoli, 2002, 2006). No Membro Siderópolis, as camadas consistem de arenitos finos a muito finos, intercalados com leitos de argilitos e folhelhos carbonosos e com desenvolvimento local de leitos de carvão, caracterizando depósitos acumulados em ambiente marinho litorâneo retrogradante. Seu contato inferior com o Membro Paraguaçu se faz de forma concordante, sendo possível observar de forma local a interdigitação das formações (Schneider et al., 1974).

No município de Taió, o Membro Paraguaçu se faz representar, sobretudo, pelos “Arenitos Taió”, compostos por intercalações de arenitos finos quartzosos a micáceos e siltitos/folhelhos (Tognoli, 2002). As camadas de superfície se apresentam, em geral, maciças e com intensa bioturbação, com coloração cinza-amarelada e aspecto apodrecido devido à intempérie, sendo esta uma condição comum nas rochas que afloram nas imediações (Rocha-Campos, 1964). Entre as estruturas sedimentares estão presentes laminação horizontal, laminação cruzada por ondas, laminação ondulada e estratificação cruzada *hummocky*. Conforme descrito por Rocha-Campos (1970), a estratificação é, no entanto, pouco notável nas camadas aflorantes, sendo preferencialmente marcada pela posição paralela dos fósseis e pela orientação dos minerais micáceos. O mesmo autor relata que bons afloramentos são escassos e, quando há, são descontínuos, observando-se assim, o contato “direto” entre as unidades deposicionais em poucos locais. Tognoli (2006), analisando essas camadas em testemunhos de sondagem, atribuiu a sedimentação a processos de decantação, fluxos oscilatórios normais e fluxos oscilatórios de tempestades.

Do ponto de vista paleoambiental, as camadas Taió foram depositadas em contexto marinho transgressivo (Beurlen, 1954; Rocha-Campos, 1970; Schneider et al.,

1974; Castro, 1987; Tognoli, 2002, 2006). Para Beurlen (1954), o mar Taió representava uma segunda transgressão marinha, posterior a dos mares Rio d'Areia, Baitaca e Folhelho Passinho, que representariam um mar interglacial dentro do Grupo Itararé. Rocha-Campos (1970) assumiu que a assembleia de moluscos fósseis preservadas nesses arenitos caracterizaria ambiente de planície de marés. Tognoli (2006), a partir de estudos em escala de detalhe com amostras de subsuperfície, interpretou os arenitos fossilíferos como depósitos de *shoreface inferior* transicionando a *offshore*.

A assembleia fossilífera de Taió foi descoberta pelo Dr. Anibal Alves Bastos, cujo registro, desde o achado inicial, intriga pela semelhança com os pelecípodes da Fauna de Eurydesma de Nova Gales do Sul, Austrália. Por determinação do Dr. Euzébio de Oliveira, a coleção de fósseis foi remetida à Cowper Reed no ano de 1929. Após observação do material, Reed (1930) realizou uma monografia descrevendo taxonomicamente os moluscos da coleção de Taió, apontando suas semelhanças com as faunas australianas e suas singularidades como uma fauna impar dentro do registro gonduânico da América do Sul.

Duas décadas depois, Kegel & Costa (1951) fizeram a primeira revisão taxonômica dos Aviculopectinidae de Taió, identificando um novo gênero, *Heteropecten*, e reconhecendo quatro espécies diferentes. Ao sintetizar o conhecimento das faunas de pelecípodes no chamado “sistema gonduânico” – ocorrentes na Bacia do Paraná desde o intervalo interglacial do topo do Grupo Itararé até os depósitos permianos das Camadas Taió – Beurlen (1954) reconheceu a predominância e a abundância dos Aviculopectinidae sobre os demais táxons presentes em assembleias fósseis de mares glaciais e pós-glaciais. A menor abundância desses moluscos em faunas de mares mais setentrionais do período permocarbonífero fez com que Beurlen (1954) assumisse, para os gêneros gonduânicos desta família, uma natureza eurihalina e euritêmica.

Dentro dos registros interglaciais da Bacia do Paraná, quatro faunas de invertebrados de ambientes distintos são observadas (faunas Capivarí, Folhelho Passinho, Rio d'Areia e Baitaca), nas quais a família Aviculopectinidae se faz presente. Na paleofauna de Rio d'Areia, os aviculopectinídeos predominam e, subordinadamente, ocorrem formas de sanguinolítídeos, solenomorfos, mialínídeos e trigonídeos (*Schizodus*) sepultados em um arenito de granulometria mais ou menos grossa. A ocorrência de braquiópodes e gastrópodes é rara; equinodermos e cefalópodes são

ausentes. Na paleofauna de Baitaca, ocorrem formas de moluscos adaptados à escavação de fundos lamosos e calmos. Na paleofauna do Folhelho Passinho, observam-se elementos comuns às demais paleofaunas acima. A paleofauna de Capivarí apresenta os grupos comuns nos depósitos da bacia, tais como Aviculopectinidae. Estes depósitos representam uma distribuição espacial que se estende do Rio Grande do Sul até o Estado de São Paulo (Martins, 1951; Beurlen, 1954).

Situado dentro da Formação Rio Bonito, uma nova paleofauna aparece dentro das camadas Taió, localizada estratigraficamente acima do Folhelho Passinho e situada muito acima dos sedimentos com características glaciais (Beurlen, 1954). Esta paleofauna ocorre em uma fácies arenosa dominada por Aviculopectinidae e alguns exemplares de *Schizodus*, semelhante à paleofauna de Rio da Areia. No entanto, faltam, na paleofauna de Taió, os demais elementos comuns nos sedimentitos dos intervalos interglaciais, tais como *Sanguinolites*, *Allorisma*, *Myalina* e *Promytilus*. Assim, para Beurlen (1954), somente os Aviculopectinidae mostram evidências de evolução, sendo o gênero *Prosopecten* o representante mais antigo e o gênero *Heteropecten*, o mais jovem. Com base na caracterização da associação faunística, Beurlen (1954) interpretou que o mar Taió representaria uma nova transgressão na Bacia do Paraná, não sendo de forma alguma um prosseguimento dos mares Rio d'Areia e Baitaca ou uma fase terminal desta transgressão pós-glacial.

Rocha-Campos (1964) reconheceu a presença de novos grupos, como equinodermos e braquiópodes, na composição da paleofauna de Taió e fez uma extensa revisão taxonômica que resultou na proposição de novos gêneros de moluscos bivalves e na confirmação da ocorrência do gastrópode *Warthia* sp. na assembleia de Taió. O mesmo autor ainda apresentou, ao longo das três décadas que sucederam aos estudos iniciais, novas contribuições à taxonomia dos moluscos (Rocha-Campos, 1970; Yochelson & Rocha-Campos, 1966; Rocha-Campos & Simões, 1993), à tafonomia (Rocha-Campos, 1966) e à paleoecologia da assembleia fossilífera de Taió (Rocha-Campos, 1970; Rocha-Campos & Rösler, 1978; Rocha-Campos & Simões, 1993), sempre conferindo à assembleia uma natureza marinha.

Apesar de muitos dos trabalhos acima citados aportarem alguma informação paleoecológica a partir dos fósseis de Taió, seu objetivo principal foi o de correlacionar os referidos depósitos com a Fauna de Eurydesma. Registrada por primeira vez na Austrália, a Fauna de Eurydesma ocorre também na Argentina (Harrington, 1955; Rocha-Campos & Carvalho, 1975; Rocha-Campos & Rösler, 1978; Rocha-Campos &

Simões, 1993; Pagani, 2000; González, 2003; González & Saravia, 2007). Apesar das faunas que ocorrem no intervalo Carbonífero-Permiano no sul da Bacia do Paraná apresentarem alguns elementos em comum com a fauna australiana, a ausência de gêneros chaves, compromete uma correlação mais fiel com a Fauna de Eurydesma, que na Austrália é relacionada ao período pós-glacial que ocorreu durante o Asseliano-Sakamariano (Dickins, 1961).

5. GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Os depósitos que contêm a assembleia fóssilífera de Taió afloram na porção oeste do município de Taió (Figura 1A) e caracterizam a base do Membro Paraguaçu da Formação Rio Bonito na área de estudo (Figura 1B). Esses depósitos foram informalmente denominados “Arenitos Taió” (ou “Camadas Taió”, Castro, 1987), e compõem a Supersequência Gondwana I (SGI) de Milani *et al.* (2007), que representa o maior ciclo transgressivo-regressivo da bacia do Paraná em termos de tempo e espessura sedimentar preservada (Figura 1B).

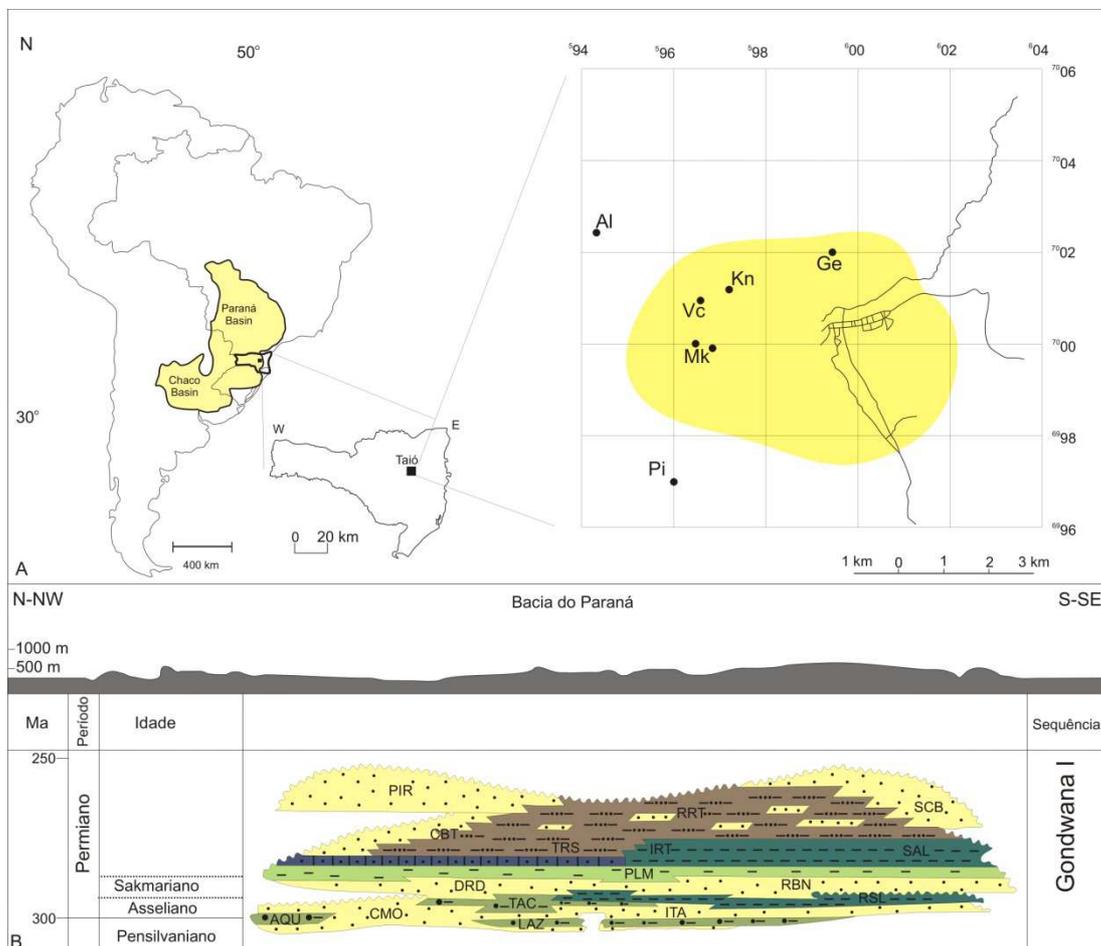


Figura 1. Situação geográfica e geológica da área de estudo. **A**, mapa de localização dos afloramentos estudados. A área urbana do município de Taió é destacada em amarelo. **B**, carta cronolitoestratigráfica da Supersequência Gondwana I (adaptada de Milani *et al.*, 2007). Abreviações: afloramentos – Al, Alaor; Pi, Pitola; Mk, Morro Kramer; Vc, Valmir Catoni; Kn, Knut; Ge, Gentil; unidades estratigráficas – AQU, Formação Aquidauana; CBT, Formação Corumbataí; CMO, Formação Campo Mourão; IRT, Formação Irati; ITA, Grupo Itararé; LAZ, Formação Lagoa Azul; PIR, Formação Piramboia; PLM, Formação Palermo; RBN, Formação Rio Bonito; RRT, Formação Rio do Rastro; RSL, Formação Rio do

Sul; SAL, Formação Serra Alta; SCB, Formação Sanga do Cabral; SM, Formação Santa Maria; TAC, Formação Taciba; TRS, Formação Teresina.

WSW

ESE

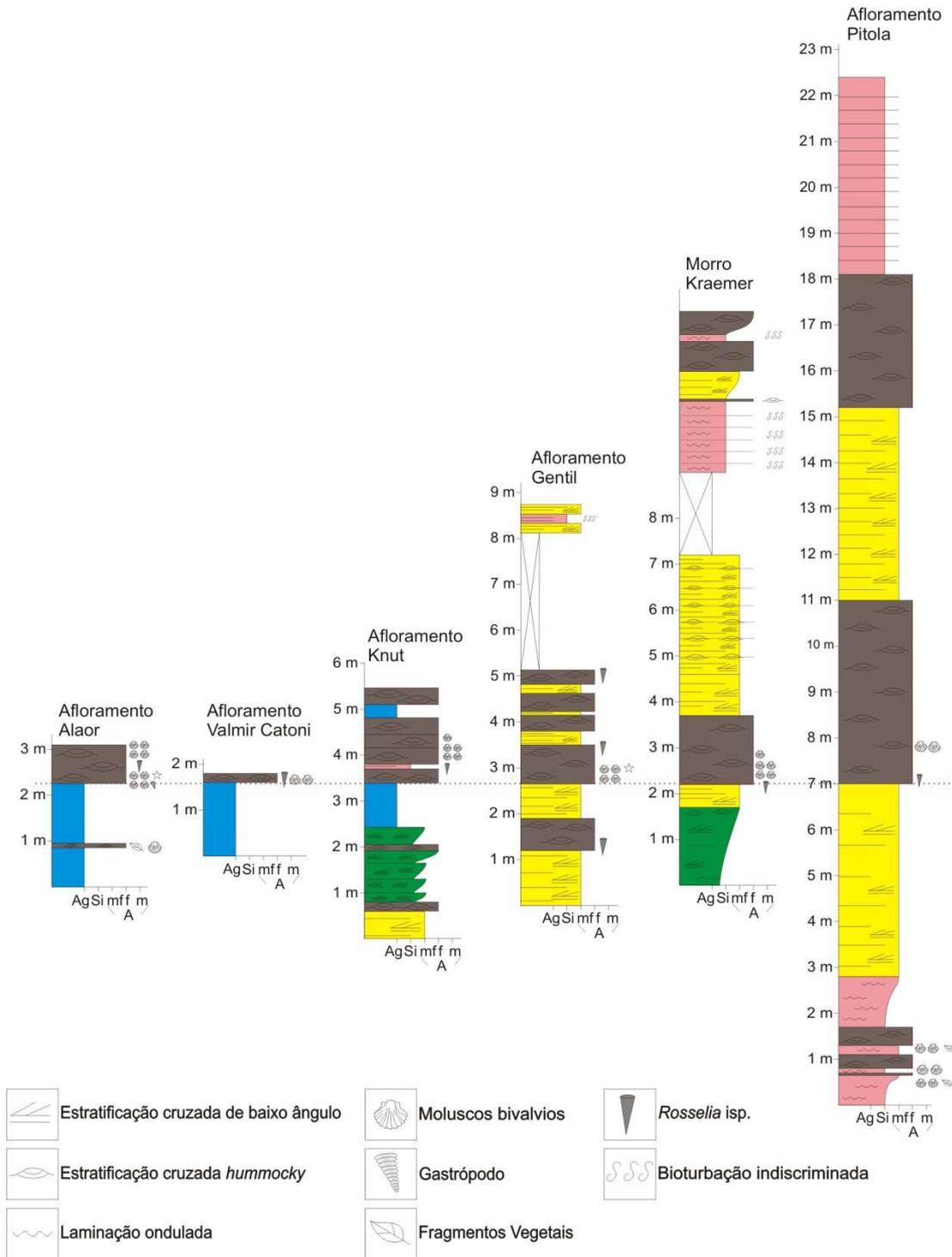


Figura 2. Representação esquemática do empilhamento sedimentar da porção do Membro Paraguaçu (Formação Rio Bonito) aflorante na área de estudo (afloramentos Alaor, Valmir Catoni, Knut, Gentil, Morro Kraemer e Pitola). A base dos pacotes amalgamados da fácies Shcs contendo *shell beds* com

bioclastos de espécimes de tamanho normal serviu de *datum* para correlação dos perfis. A distância entre os afloramentos não está representada.

Arenitos finos intercalados a heterolitos com domínio de fração siltica, siltitos e argilitos compõem a sucessão sedimentar observada na área de estudo, com destaque para as camadas amalgamadas de arenito muito fino e fino com estratificação cruzada *hummocky* que abrigam a maior parte das concentrações fossilíferas (Figura 2). Essa sucessão foi detalhada por Schmidt-Neto (2013), sendo reconhecidas cinco fácies sedimentares, a partir da dominância de depósitos heterolíticos (Hw), de arenitos muito finos com estratificação cruzada *swaley* (Sscs), de arenitos muito finos com *ripples* (Sw), de arenitos finos com estratificação cruzada *hummocky* (Shcs) e de argilitos (Mm).

A base da sucessão sedimentar estudada é composta pelo conjunto das fácies Hw, Sscs e Sw. A fácies Hw é composta por depósitos heterolíticos siltico-argilosos ou siltico-arenosos, de geometria tabular, com preservação de acamadamento ondulado na fração silte e presença de discretas lentes delgadas de arenito muito fino (Figura 3B-C). Os heterolitos siltico-argilosos contêm acumulações fossilíferas com espécimes nanicos de moluscos bivalves (Schmidt Neto et al., em subm.) (Figura 9, cap. 8, pag. 53), icnofábrica de *Planolites-Palaeophycus* com índice de bioturbação baixo a moderado (2-3) e uma grande quantidade de fitoclastos, com ausência de esporomorfos e MOA (Staudt 2013). A fração arenosa nos heterolitos siltico-arenosos é muito fina e acúmulos fossilíferos não são observados. A bioturbação mostra maior diversidade e abundância (índice 4-5), sendo representada por uma icnofábrica composta dominada por *Rosselia* e contendo *Palaeophycus*, *Skolithos*, *Diplocraterion* e escavações verticais a inclinadas indeterminadas como elementos acessórios (Figura 3H). A quantidade de fitoclastos diminui consideravelmente nos heterolitos siltico-arenosos, sendo observada a presença de acritarcos e palinoforaminíferos (em menor proporção). Sobre – e, por vezes, intercalados aos heterolitos basais – se assentam os depósitos da fácies Sscs e Sw (Figura 3A). A fácies Sscs é representada por siltitos que gradam a arenitos muito finos contendo acamadamento ondulado, estratificação cruzada de baixo ângulo, estratificação cruzada *swaley*, intercaladas por delgados níveis argilosos (Figuras 2, 3A-B). A bioturbação é representada por ocorrências expressivas de *Rosselia* isp. (índice 4-5) com boa preservação da morfologia fusiforme (*spindle-shaped*) (Figura 3G). A presença de fitoclastos diminui em relação à fácies Sw e aumenta a quantidade de MOA. As partículas acastanhadas bioestruturadas mostram-se amorfizadas ou pseudoamorfadas, em

sua maioria. Já fácies Sw é composta por arenitos muito finos com matriz lamosa e discretas intercalações de lâminas siltico-argilosas que formam pacotes de geometria lenticular e apresentam estratificação cruzada de baixo ângulo, com truncamentos, concavidades e algumas convexidades preservadas (Figuras 2, 3A,C). Localmente, observam-se estruturas *flaser*. Caracterizam deposição em contexto de *shoreface*, possivelmente ainda na zona de ação das ondas normais. A icnofábrica de *Planolites-Palaeophycus* ocorre de modo incipiente na base da sucessão. Argilitos maciços contendo algas prasinófitas (acritarcos), palinoforaminíferos e escolecodontes (Staudt 2013) compõem a fácies Mm (Figuras 2, 3D) e se assentam sobre os depósitos basais, ora recobrando a fácies Sscs, ora a fácies Sw. Fitoclastos opacos são escassos nessa fácies e apresentam-se corroídos. A quantidade de MOA é elevada e há ocorrência de palinoforaminíferos. Nos níveis mais basais dessa fácies concentram-se as maiores quantidades de MOA observadas nas amostras analisadas, com registro local de escolecodontes.

Camadas amalgamadas de arenitos finos com estratificação cruzada *hummocky* contendo ocorrência expressiva de icnofábrica monoespecífica de *Rosselia* isp. na base e diferentes *lags* fossilíferos caracterizam a fácies Shcs (Figuras 2, 3E-G) e são observadas em toda a área de estudo. Esses arenitos se assentam ora sobre os heterolitos (fácies Hw) e arenitos (fácies Sw) basais, ora sobre os argilitos (fácies Mm), apresentando contato basal erosivo. Caracterizam deposição abaixo do nível de ação das ondas normais, possivelmente em *shoreface* inferior. Os depósitos das fácies Sscs e Shcs são recorrentes no terço médio-superior da sucessão na área de estudo após a primeira ocorrência da fácies Shcs, mas não apresentam concentrações fossilíferas – apenas a icnofábrica de *Rosselia* é observada. O topo da sucessão é marcado pelo retorno da fácies Hw com composição siltico-arenosa, mostrando acamadamento ondulado e presença de icnofábrica composta, dominada por *Rosselia* isp., tendo *Cylindrichnus*, *Skolithos*, *Diplocraterion* e tubos verticais e inclinados indeterminados como elementos subordinados (Figuras 2, 3H). Fósseis corpóreos não são observados nesses heterolitos.

O conjunto das litologias e estruturas sedimentares observadas indica deposição em ambiente marinho plataformal, com domínio da deposição abaixo do nível de ação das ondas normais. As assinaturas icnológicas e de palinofácies dos depósitos basais (melhor observados no afloramento Pitola), contudo, sugerem deposição em ambientes mais proximais em relação à costa, permitindo inserir a sucessão sedimentar estudada

em um contexto de trato de sistemas transgressivo. Esse contexto paleoambiental e estratigráfico é coerente com o inferido por Tognoli (2006) para os depósitos basais do Membro Paraguaçu na região de Taió, a partir de dados de subsuperfície.



Figura 3. Fácies sedimentares da sucessão sedimentar do Membro Paraguaçu exposta na área de estudo. **A**, vista geral dos depósitos basais representados pelas fácies Hw, Sscs e Sw, sendo a primeira recorrente ao longo de toda a sucessão basal. **B**, detalhe da fácies Hw com intercalação da fácies Sscs. **C**, detalhe da fácies Sw, evidenciando a estratificação cruzada de baixo ângulo e os topos de algumas *ripples* discretamente preservados. **D**, fácies Mm. **E**, arenitos amalgamados da fácies Shcs; note a geometria lenticular truncada e a preservação de algumas convexidades. **F**, *shell bed* preservado na fácies Shcs. **G**, icnofábrica de *Rosselia* isp.. **H**, fácies Hw arenosa do topo da sucessão sedimentar contendo icnofábrica dominada por *Rosselia-Cyindrichnus*. Escalas: 1 m (A), 10 cm (B-F), 10 mm (G-H).

6. TAXONOMIA DA ASSEMBLEIA FÓSSIL DE TAIÓ

Filo Mollusca

Classe Bivalvia Linnaeus, 1795

Subclasse Autobranchia Grobben, 1894

Infraclasse Pteriomorphia Beurlen, 1944

Ordem Pectinida J. Gray, 1854

Hypordem Aviculopectinoidei Starobogatov, 1992

Superfamília Heteropectinoidea Beurlen, 1954

Família Heteropectinidae Beurlen, 1954

Subfamília Heteropectininae Beurlen, 1954

Gênero *Heteropecten* Kegel & Costa, 1951

Heteropecten catharinae Rocha-Campos, 1967

(Figura 4A)

Material. ULVG 5010, 5021, 7097, 7184; GP/IE 1108 e P 0119 (valva esquerda); ULVG 5025, 5051, 5080, 5127, 5655, 7161, 7184 e 7229 (valva direita); P 0102, 0117 e PL 002 (estágio ontogenético primário).

Tipo de fossilização. Molde interno e externo, contramolde interno e externo.

Descrição. Concha inequivalve, equilateral com silhueta triangular. Valva esquerda fortemente convexa, com umbo pronunciado e bico avançando à frente da linha da charneira; área cardinal estreita, comprida e com resilífero triangular. Valva direita plana a côncava com uma silhueta mais circular que triangular; o umbo é discreto e o bico não ultrapassa a linha da charneira. As aurículas anteriores na valva esquerda apresentam o mesmo tamanho, enquanto que na valva direita a anterior é cerca de duas vezes maior que a posterior. A margem das valvas anteriores é convexa, enquanto que a margem das valvas direitas é côncava. As conchas são ornamentadas por grossas costelas que percorrem toda a área da valva, desde o umbo até a margem ventral. Um grupo de costelas mais discretas inicia no meio do dorso da valva e se estende até a

margem ventral. Entre o material fossilizado se encontram conchas de tamanhos variados. Aspectos da musculatura não foram observados.

Infraclasse Heteroconchia Hertwig, 1895

Megaordem Unionata J. Gray, 1854

Ordem Trigoniida Dall, 1889

Superfamília Trigonioidea Lamarck, 1819

Família Schizodidae Newell & Boyd, 1975

Subfamília Schizodinae Newell & Boyd, 1975

Gênero *Schizodus* De Verneuil & Murchison, 1844

Schizodus occidentalis Reed, 1930

(Figura 4B)

Material. GP/IE 1089, 1091 1093, 1098; ULVG 5045; 5095.

Tipo de preservação. Molde interno.

Descrição. Concha equivalve, inequilateral, com silhueta triangular. Porção anterior da concha amplamente inflada. Porção posterior com forte truncamento e ângulo de flexação acentuado correndo do umbo até a margem ventral. A porção posterior é ligeiramente mais alongada que a anterior. O umbo é discreto com um bico geralmente ortógiro. Ornamentação é composta por finas e discretas costelas concêntricas. Há a preservação de conchas de tamanho médio e grande.

Ordem Actinodontida Deschaseaux, 1952

Superfamília Oriocrassatelloidea Boyd & Newell, 1968

Família Oriocrassatellidae Boyd & Newell, 1968

Gênero *Oriocrassatella* Etheridge Jr., 1907

Oriocrassatella itajaiensis Rocha-Campos, 1970

(Figura 4F)

Material. GP/IE 1091 1093; PL 003.

Tipo de fossilização. Contramolde externo.

Descrição. Concha equivalve, inequilateral, de silhueta ovoide. Margens anterior e posterior arredondadas; o bordo dorsal é reto e apresenta uma feição mais triangular

com umbo semicentralizado e fortemente flexionado. Ornamentação formada por grossas costelas concêntricas.

Ordem Hiatellida Carter, *nov.*

Superfamília Edmondiioidea W. King, 1850

Família Edmondiidae W. King, 1850

Gênero *Edmondia* De Koninck, 1842

Edmondia sp. Reed, 1930

(Figura 4E)

Material. GP/IE 1107.

Tipo de fossilização. Contramolde externo.

Descrição. Concha equivalve, inequilateral com umbo centralizado. Concha de silhueta elíptica a retânguloide, mais alta na porção do umbo. A extremidade posterior é mais arredondada. Em contraposição, a extremidade anterior apresenta uma suave curva em direção à linha da margem ventral, conferindo-lhe um aspecto angular mais agudo. Umbo bem marcado. Ornamentação formada por costelas concêntricas, bem marcadas e espessas. Apresenta tamanho pequeno.

Megaordem Cardiata Férussac, 1822

Ordem Cardiida Férussac, 1822

Família Kalenteridae Marwick, 1953

Subfamília Myoconchinae Newell, 1957

Gênero *Stutchburia* Etheridge Jr., 1900

Stutchburia brasiliensis Reed, 1930

(Figura 4I)

Material. GP/IE 1086, 1091 1093, 1095, 1097; ULVG 5041, 7228; P 0116.

Tipo de fossilização. Molde interno, contramolde interno e externo.

Descrição. Concha equivalve, inequilateral. O comprimento da concha é aproximadamente três vezes maior que a altura, apresentando uma silhueta elíptica a lanceolada, tornando os bordos ventral e dorsal subparalelos. Apesar do aspecto comprimido, a porção anterior é mais inflada e saliente devido à presença do umbo que é discreto e prosógiro. Ornamentação formada por linhas de crescimento muito finas e

discretas. Os exemplares são de tamanho grande, e alguns foram preservados com as valvas ainda conectadas (Figura 4I).

Discussão. Detalhes da dentição, da linha da charneira e das cicatrizes musculares não puderam ser observados nos espécimes analisados, tendo sido descritos por Reed (1930) e Rocha-Campos (1970).

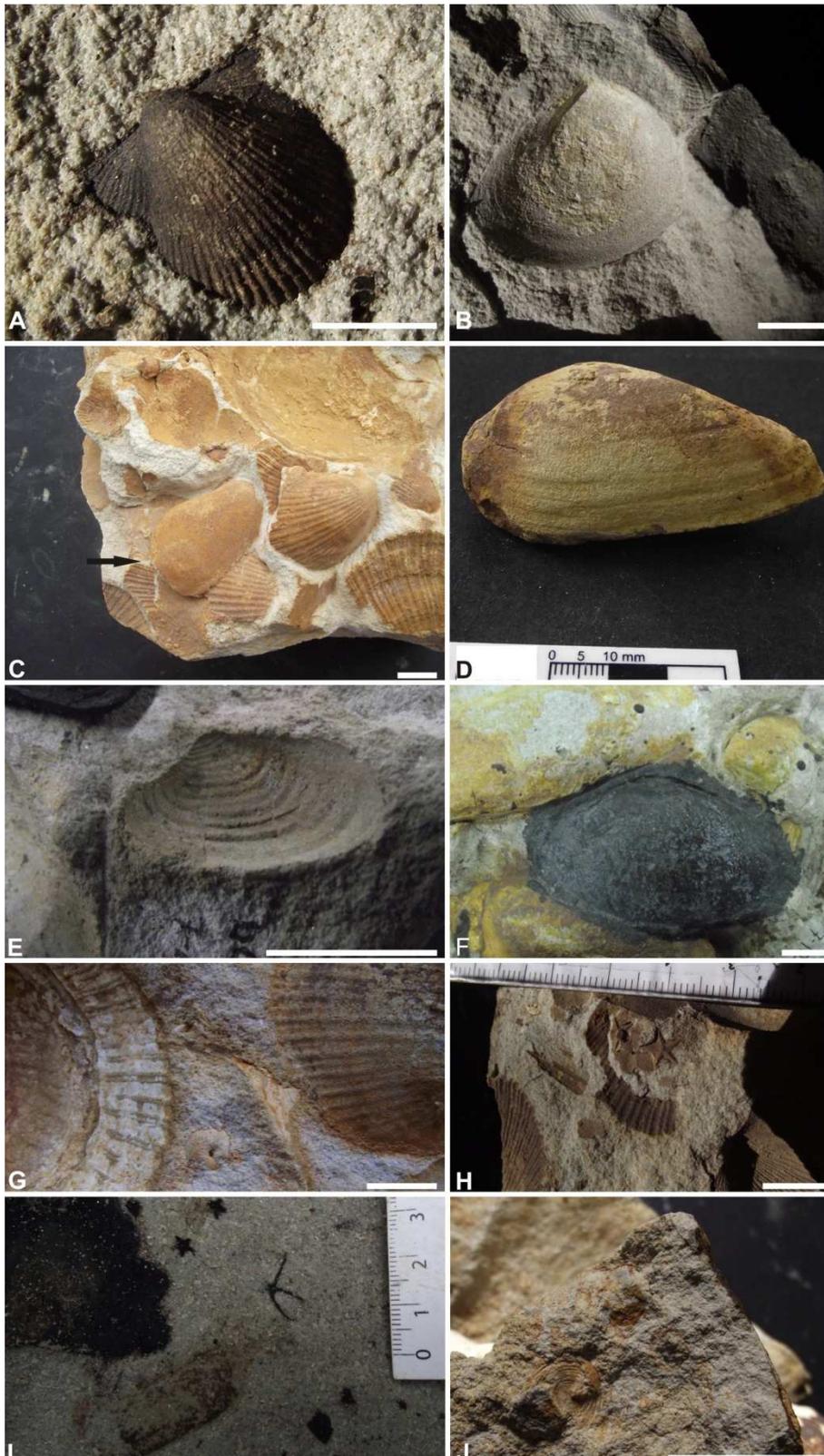


Figura 4. Componentes da assembleia fossilífera de Taió. A, *Heteropecten catharinae*; B, *Schizodus occidentalis*; C, *Australomya sinuosa*; D, *Myonia costata*; E, *Edmondia* sp.; F, *Oriocrassatella itajaiensis*; G, *Warthia* sp.; H, *Asteroidea*; I, *Ofiuroida*, *Stutchburia brasiliensis*. A, UMVT 10749; B, UMVT 5095; C, P 0117; D, 7884; E, GP/IE 1107; F, GP/IE 1091; G, UMVT 5018; H, UMVT 4934; I, UMVT 10750. Escalas: 10 mm.

Subclasse Anomalodesmata

Megaordem Poromyata Ridewood, 1903

Ordem Pholadomyida Newell, 1965

Superfamília Pholadomyoidea W. King, 1844

Família Pholadomyidae W. King, 1844

Gênero *Australomya* Runnegar, 1969

Australomya sinuosa Rocha-Campos & Simões 1993

(Figura 4C)

Material. GP/IE 1101, 4483 4484; P 0117.

Tipo de fossilização. Molde interno.

Descrição. Concha equivalve, inequilateral, com comprimento da concha duas vezes maior que a altura. Silhueta triangular a retânguloide. Concha moderadamente convexa na região dorsal anterior, com convexidade apresentando flexão que se estende do umbo até a margem ventral, dando à região umbonal um aspecto triangular. Concha alongada, com margens ventral e dorsal em posição subparalelas. A margem ventral é suavemente sinuosa, enquanto a dorsal é levemente curva. A porção posterior é ampla, arredondada e levemente inflada; a porção anterior é curta, avançando pouco além do eixo do umbo. O umbo é encurvado, com bico opistógiro. A ornamentação consiste de delicadas costelas que correm paralelamente à margem ventral, avançando em direção ao umbo. Os tamanhos das conchas são sempre grandes. Alguns exemplares foram preservados com as valvas conectadas.

Discussão. Nos espécimes analisados, a lúnula, o escudo, a charneira e as cicatrizes musculares não foram observadas. Rocha-Campos & Simões (1993), em descrição prévia desses exemplares, ressaltam o caráter alongado da lúnula e do escudo, este último sendo ainda moderadamente amplo.

Gênero *Myonia* Dana, 1847

Myonia costata Rocha-Campos, 1970

(Figura 4D)

Material. GP/IE 1943, 4465, 4496; ULVG 5046, 5456, 7884; P 0135; PL 056.

Tipo de preservação. Contra molde externo e interno.

Descrição. Concha equivalve, inequilateral, semelhante à *Australomya sinuosa*, mas apresentando-se menos alongada e com uma silhueta elíptica a retânguloide. A região posterior é mais alongada do que a anterior. A região anterior, além de mais curta, divide o espaço da concha com a região umbonal. O umbo é bem marcado e fortemente flexionado; o bico é opistógiro. Os bordos laterais são igualmente flexionados para dentro. A concha é pouco inflada e sua ornamentação é formada por costelas concêntricas bem marcadas. Os exemplares apresentam tamanhos médios e grandes. Alguns espécimes foram fossilizados preservando a conexão das valvas.

Classe Gastropoda Cuvier, 1795

Subclasse Prosobranchia

Família Sinuitidae Dall, 1913

Gênero *Warthia* Waagen, 1880

Warthia catarinensis Rocha-Campos, 1967

(Figura 4G)

Material. ULVG 5018, 5456; GP/IE 1094; PL 043.

Tipo de fossilização. Contramolde.

Descrição. Concha comprimida lateralmente com um espaço no centro da espiral. A concha espiralada é dorso e lateralmente arredondada. A porção inicial que se flexiona em direção ao centro apresenta um progressivo e suave estreitamento; em contraposição a abertura da concha parece ser a porção mais ampla da concha, entretanto como não pode ser visualizado este caráter não pode ser afirmado. São encontrados dois grupos de tamanho, um pequeno, com diâmetro constante de 5 mm, e outro ainda menor. A concha é lisa, desprovida de ornamentação ou linha de sutura.

Filo Brachiopoda Duméril, 1806

Classe Lingulata Waagen, 1885

Ordem Discinida Gray, 1840

Gênero *Orbiculoidea* D'Orbigny, 1847

Orbiculoidea itajaiensis Reed, 1935

(Figura 4J)

Material. GP/IE 4454, ULVG 10750, 5022a.

Tipo de fossilização. Contramolde externo.

Descrição. Organismo pedunculado de concha bivalve quitinosa, inarticulada, radial e inequivalve. A valva dorsal possui uma forma radial e cônica, enquanto a valva ventral é radial e plana. As valvas preservadas têm aspecto plano, com costelas radiais concêntricas finas, porém bem marcadas. O listrio está presente e não apresenta ornamentações. Diâmetro entre 3 e 10 mm. Valvas dorsais não foram observadas.

Discussão. dos exemplares observados, chama a atenção, de forma particular, um junto a uma valva de *H. catharinae* (GP/IE 4454), cuja preservação associada à valva de outro organismo sugere uma estratégia de ancoragem em meios de substratos inconsolidados instáveis (Rudwick, 1985).

Filo Echinodermata

Subfilo Asterozoa Zittel, 1895

Classe Asteroidea de Blainville, 1830

Ordem Pustulosida Spencer 1951

Família Neopalaeasteridae Schuchert 1915

(Figura 4H)

Material. GP/IE 4443, 4502; ULVG 4938, 4934; P 0090.

Tipo de fossilização. Contramolde.

Descrição. Asteroide de forma pentâmera, articulada, com a face aboral voltada para cima e diâmetro de 0,5 cm. O corpo é inflado com uma protuberância central, apresenta nitidamente marcas da área das placas (ossículos) em forma de bastonetes. Cada braço apresenta uma crista central elevada, cilíndrica e de largura homogênea que corre da margem do corpo até a extremidade terminal. O grau de preservação permitiu a observação do madreporito. Todos os exemplares apresentam 5 mm de extensão entre a extremidade de um braço ao outro.

Classe Ophiuroidea Gray, 1840

Ordem Ophiurida Müller e Troschel, 1840

Família Ophiuridae Liman, 1865

Gênero Ophiura Lamark, 1801

(Figura 4I)

Material. ULVG 10748a e b.

Descrição. Asterozoário com disco nitidamente distinto dos braços esguios e alongados, articulados de forma a assumir movimentos serpenteados. Diâmetro do disco: 2 mm.

Discussão. Trata-se de uma forma muito simples, sem espinhos, grânulos ou escamas.

7. BIOEROSÕES EM VALVAS DE *Heteropecten catharinae*

Estruturas de bioerosão são comuns em uma variedade de substratos duros, entre os quais rochas, conchas, equinodermos, tubos calcários de poliquetas, ossos, dentes e madeiras (e.g., Belaústegui et al., 2012; Bromley, 1996; Bromley & Asgaard, 1993; Donovan & Jagt, 2005; Klompmaker, 2012; Martinell et al., 2012; Savazzi, 1999; Villegas-Martín et al., 2011, 2012). Constituem uma das poucas provas de interação biológica presentes no registro geológico (Martinell et al., 2012). As ocorrências destas estruturas, particularmente em conchas de moluscos, são amplas na literatura paleontológica para diferentes idades (e.g., Lorenzo & Verde, 2004; Gibert et al., 2007; Santos & Mayoral, 2008; Domènech et al., 2008; Bromley et al., 2009), no entanto seus registros em substratos paleozoicos são relativamente incomuns (Mikuláš, 1994; Bromley, 2004; Tapanila, 2006).

Em depósitos paleozoicos da Bacia do Paraná, que afloram a oeste do município de Taió, ocorre uma assembleia fóssil de invertebrados marinhos onde predominam moluscos bivalves preservados como moldes e contramoldes internos, externos e compostos (Rocha-Campos, 1966). Em várias dessas valvas são observados sinais de bioerosão que passaram despercebidos ou não foram considerados na descrição original dos fósseis que compõem essa assembleia. A presença de bioerosão é uma assinatura tafonômica relevante na análise de acumulações fossilíferas (e.g., Fürsich & Oschmann, 1993; Kowalewski, 1996), podendo sinalizar detalhes sobre os processos e o tempo envolvido no soterramento das conchas (e.g., Johnson, 1960; Simões & Torello, 2003; Gibert et al., 2007). Assim, o presente capítulo tem como objetivos registrar a ocorrência destas estruturas de bioerosão em valvas superiores de *Heteropecten catharinae* preservadas nos Arenitos Taió (Estado de Santa Catarina, sul do Brasil) e discutir seu significado tafonômico.

7.1 Icnotaxonomia

ICNOGÊNERO *Clionolithes* Clarke 1908

Clionolithes isp.

(Figura 5A)

Material. PL 0110; P 0118; ULVG 5075.

Descrição. Sistema composto por múltiplos túneis anastomosados e interdigitados, formando uma rede preservada na superfície interna das valvas superiores de *H. catharinae*. Os túneis se originam a partir de um ponto central, divergindo dicotomicamente em diferentes direções, num mesmo plano, e apresentam um alto grau de superposição entre si. Os túneis são delgados, com diâmetro menor que 1 mm.

Discussão. A presença de perfurações delicadas em forma de túneis dicotomicamente bifurcados e que se irradiam num mesmo plano a partir de um ponto central em valvas de moluscos permitiu incluir o material estudado no icnogênero *Clionolithes* (e.g., Fenton & Fenton, 1932; Teichert, 1945; Häntzschel, 1975; Plewes, 1996; Taylor & Wilson, 2003; Bromley, 2004).

Clionolithes é reportado desde o Ordoviciano até o Neógeno (e.g., Clarke, 1921; De Laubenfels, 1955; Marple et al., 1964; Plewes, 1996; Taylor & Wilson, 2003; Bromley, 2004; Parras & Casadío, 2006; Macmillan, 2010), sendo as formas paleozoicas atribuídas a poríferos, e as pós-paleozoicas, a algas incrustantes (e.g., Parras & Casadío, 2006; Macmillan 2010). As revisões efetuadas por Plewes (1996) e Taylor & Wilson (2003) restringem as ocorrências paleozoicas de *Clionolithes* isp. ao intervalo Ordoviciano-Carbonífero, sendo mais comum no Devoniano (Bromley, 2004). Representam estruturas de fixação (*Fixichnia*, Gibert, et al. 2004) produzidas provavelmente durante o estágio alfa de crescimento (e.g., Rützler, 2002, Corriero & Marzano, 2006). Poríferos das famílias Clionaide e Spirastrellidae (Ordem Hadromerida, Classe Demospongiae) seriam os potenciais produtores dessas estruturas. A presença de *Clionolithes* isp. em valvas de *H. catharinae* estende a ocorrência desse icnogênero até pelo menos o Permiano inferior.

ICNOGÊNERO *Entobia* Bronn 1837

Entobia isp.

(Figuras 5C, D e E)

Material. GP/IE 0211, 0660, 1097, 4447; ULVG 5018; PL 0110; P 0101, 0110, 0135.

Descrição. Múltiplas perfurações dispostas em valvas superiores (convexas) de *Heteropecten catharinae*, com distribuição variável. Externamente, as perfurações se caracterizam por aberturas de seção circular a subcircular, com diâmetro variável de 0,7 a 1,5 mm. Estas aberturas conduzem a câmaras internas geralmente elípticas, de paredes lisas e diâmetro maior variando de 1 a 4 mm, e unidas por canais diminutos, cujo diâmetro varia de 0,1 a 0,5 mm.

Discussão. Os exemplares estudados foram atribuídos a *Entobia* por caracterizarem perfurações compostas por várias câmaras dispostas muito próximas uma das outras unidas por uma rede de canais internos (Bromley & D'Alessandro, 1983). *Entobia* em geral é um icnogênero comum em rochas meso-cenozoicas (Gibert et al., 2007), sendo icnoguila da Icnofácies *Entobia*, comum em depósitos carbonáticos pós-paleozoicos (Gibert et al., 1998). As formas paleozoicas de morfologia equivalente foram originalmente atribuídas ao gênero *Topsentopsis* De Laubenfels 1955, o qual foi revisado por Tapanila (2006) e sinonimizado a *Entobia*. Outras ocorrências paleozoicas de *Entobia* foram reportadas em depósitos devonianos da República Tcheca (Mikuláš, 1994) e de Nevada, U.S.A. (Tapanila, 2006), caracterizando a icnoespécie *Entobia devonica* (Clarke, 1921).

Entobia isp. representa traços de fixação (*Fixichnia*, Gibert et al., 2004) de organismos que exploram o substrato duro para ancoragem (Warm, 1975), produzidas por esponjas endolíticas (Bromley & D'Alessandro, 1983; Farinati & Zavala, 2002), potencialmente das famílias Clionaide e Spirastrellidae (Ordem Hadromerida, Classe Demospongiae).

Icnogênero *Oichnus* Bromley 1981

Oichnus ovalis Bromley 1993

(Figuras 5B-C)

Material. GPIE 211.

Descrição. Perfuração subparabólica de seção oval em valva superior de *H. catharinae*. A perfuração é penetrativa, preservada em contramolde interno, e apresenta um bordo externo, de diâmetro maior, e um bordo interno, de diâmetro menor. O bordo externo possui diâmetro de 5 mm no eixo mais longo e de 3 mm no mais curto, e os diâmetros do bordo interno medem 4 mm no eixo mais longo e 2 mm no eixo mais curto. A presença de um diâmetro maior e outro menor indica um afinamento da perfuração em

direção ao interior da concha. A distância entre os bordos é equivalente, medindo 1 mm no lado direito da perfuração e 0,5 mm no lado esquerdo sugerindo uma perfuração inclinada. O bordo interno é aparentemente liso, enquanto que o externo mostra-se mais irregular. A perfuração está posicionada próxima à cicatriz muscular.

Discussão. O exemplar estudado foi inserido em *O. ovalis* por apresentar seção oval e características preservacionais que permitem inferir uma tendência de afinamento subparabolóide, que é próprio desse icnotáxon. Além disso, o bordo externo com aspecto mais irregular pode ser consequência de uma tendência romboide, também comumente observada nas aberturas externas de *O. ovalis* (Bromley, 1993; Blissett & Pickerill, 2007). Em ambientes modernos, *O. ovalis* é produzido por polvos (gênero *Octopus*) em moluscos bivalves (inclusive pectinídeos), com o intuito de predação (Pilson & Taylor, 1961; Nixon, 1980; Bromley, 1993; Blissett & Pickerill, 2007). O animal se utiliza das papilas salivares para gerar a perfuração, que tem por fim injetar saliva paralisante, que relaxa a tensão do músculo adutor e provoca a abertura das valvas, favorecendo assim a predação (e.g., Pilson & Taylor, 1961; Nixon, 1980; Bromley, 1993). Também incluídas no icnogênero *Oichnus*, as perfurações de predação de gastrópodes (*O. simplex*, *O. paraboloides*) se diferenciam de *O. ovalis* pela seção circular e pelo diâmetro da abertura externa geralmente mais avantajado (Bromley, 1993). Ademais, gastrópodes tendem a perfurar as partes mais delgadas das conchas, enquanto que os polvos perfuram próximos ao músculo adutor. O exemplar aqui analisado ocorre próximo à cicatriz muscular e a perfuração mostra-se inclinada em direção à zona que seria ocupada pelo músculo adutor da concha (Figura 5B), sugerindo um comportamento equivalente àquele descrito para polvos, não os inferidos para gastrópodes.

O registro mais antigo de *Oichnus* data do Ediacarano (Bengston & Zaho, 1992) e o de *O. ovalis*, do Eoceno (Blissett & Pickerill, 2007), talvez do Cretáceo (Harper & Wharton, 2000). Contudo, tal como postulado por Bromley (1993, 2004), e apesar do pobre registro fóssil paleozoico, os polvos fazem parte das comunidades marinhas desde o Carbonífero (*Pohlsepia mazonensis*, Kluessendorf & Doyle, 2000), fazendo com que o registro de formas mais antigas de *O. ovalis* seja esperado.

A valva que contém o exemplar de *O. ovalis* aqui estudado também contém *Entobia* isp.

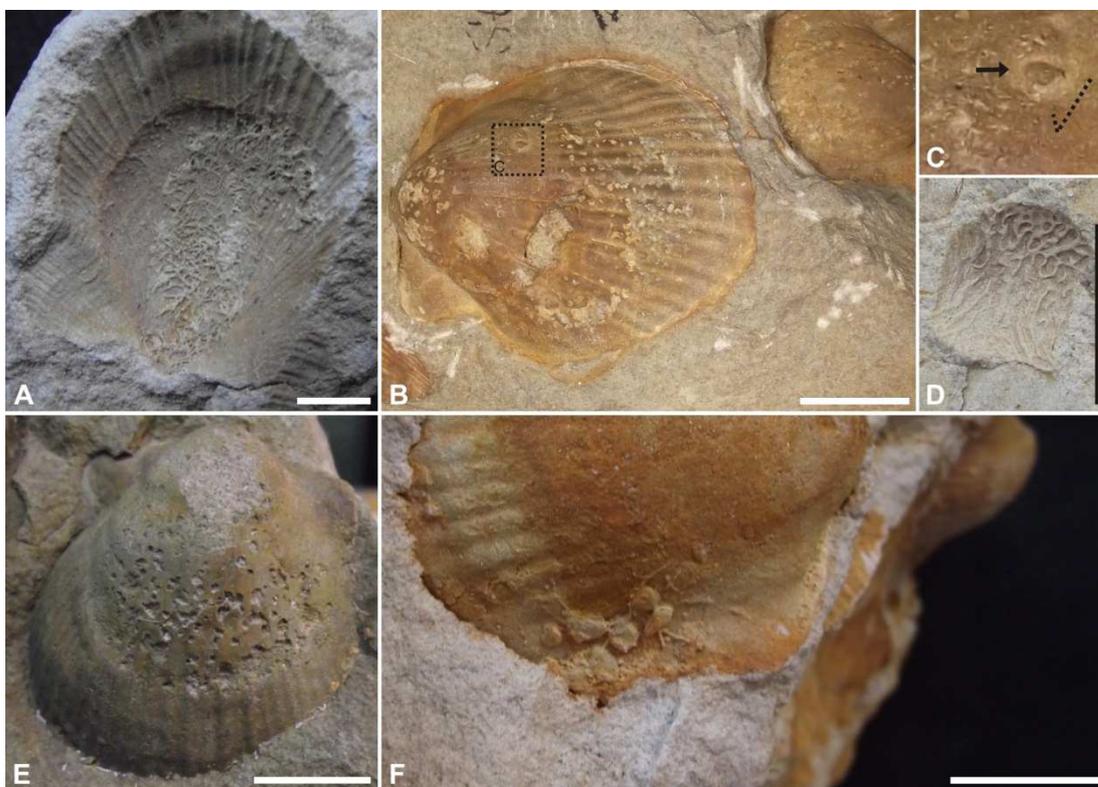


Figura 5. Bioerosões observadas nas valvas de *Heteropecten catharinae* dos *shell beds* de Taió. A, *Clionolithes* isp.; B, perfuração feita por *Oichnus ovalis*, C, ampliação do detalhe em B, a seta pontilhada indica o sentido da perfuração; D, moldes de câmaras de *Entobia* isp na face interna de *Heteropecten catharinae*; D, valva com diversas perfurações produzidas por *Entobia* isp.; E, contramolde de câmaras e canais de *Entobia* isp. Escala: 10 mm.

7.2 Discussão

Apesar da assembleia fóssil de Taió não representar uma tanatocenose monoespecífica, as bioerosões são vistas somente em moldes de valvas superiores de *H. catharinae*. As aberturas de perfurações sempre são observadas na face externa dos moldes das valvas, enquanto galerias e câmaras são observadas na face interna. Esta assinatura implica que as valvas se encontravam em uma posição hidrodinâmica estável (sensu Kidwell et al., 1986) no momento que foram atacadas pelos agentes bioerosivos, sendo soterradas antes que ocorresse algum retrabalhamento significativo.

Os túneis e as câmaras que caracterizam, respectivamente, *Clionolithes* isp. e *Entobia* isp. mostram uma excelente preservação na forma de moldes, estando preenchidos pelos arenitos muito finos que compõem a rocha matriz. O padrão preservacional da bioerosão sugere o preenchimento das perfurações e cimentação antes da dissolução das conchas e após o soterramento.

Tanto os exemplares de *Clionolithes* isp. quanto os de *Entobia* isp. observados em *H. catharinae* não ocupam completamente a superfície das valvas biorodidas. Segundo Goreau & Hartman (1963), as larvas de clionídeos produzem filamentos de fixação quase que imediatamente ao entrar em contato com um substrato calcário. Estudos experimentais realizados por Evans (1969) demonstraram que a colonização do interior de uma valva ocorre em um período máximo de seis meses. Assim, a colonização parcial das valvas permite inferir que o tempo entre a disponibilização das valvas na interface substrato/sedimento e seu soterramento foi inferior a seis meses. Um tempo maior de exposição implicaria numa maior dissolução pela expansão da colônia incrustante (estágio beta de crescimento) até a dissolução completa da valva, liberando a colônia já massiva, já que a partir desse estágio (estágio gama de crescimento) os clionídeos passam a ter vida livre, não apresentando mais hábito perfurante ou incrustrante (e.g., Corriero & Marzano, 2006). A ausência de sinais de abrasão ou fragmentação nas valvas bioerodidas de *H. catharinae* também indica que as mesmas estiveram expostas à ação dos agentes transportantes por um curto espaço de tempo (e.g., Kidwell et al., 1986; Kidwell & Bosence, 1991; Fürsich & Oschmann, 1993).

As características observadas nas concentrações fossilíferas de Taió (conchas inteiras, sem sinais de abrasão, seleção de tamanho, concentrações do tipo matriz-suportada e alto índice de ocorrência de bioerosão) sugerem que estes exoesqueletos foram acumulados em zona de *shoreface inferior*, onde os bioclastos são retrabalhados por ação das ondas de tempestade (e.g., Fürsich & Oschmann, 1993; Simões et al., 2000). Quando depositados nessa zona, os exoesqueletos tendem a permanecer expostos, sendo soterrados durante eventos episódicos que geram aporte sedimentar significativo, aumentando as taxas de sedimentação (e.g., Simões & Torello, 2003).

A presença de estratificação cruzada do tipo *hummocky* e estratificação cruzada do tipo *swaley* nos arenitos que contêm as concentrações fossilíferas sugere que os Arenitos Taió tenham sido depositados pela ação de tempestades. A ocorrência de uma densa icnofábrica de *Rosselia* nesses arenitos (Tognoli, 2006) reforça essa interpretação, já que esse padrão de icnofábrica de *Rosselia* tem sido registrado em depósitos de alta

energia e alta frequência deposicional gerados pela ação de tormentas (Nara, 2002; Nara e Haga, 2007). O rápido soterramento estimado para as valvas de *H. catharinae* e o amalgamento das camadas fossilíferas também são bons indicadores de uma alta frequência deposicional.

A ocorrência de *O. ovalis* reforça a hipótese de acúmulo de conchas em zonas plataformais rasas. *Pohlsepia mazonensis*, o único representante paleozoico do grupo dos octópodos conhecido até o momento, compõe a biota Essex da assembleia fossilífera de Mezon Creek (Illinois, U.S.A.), que é composta por organismos marinhos rasos e marginais marinhos, cuja preservação excepcional é atribuída a um rápido soterramento e alto aporte sedimentar decorrente da ação de tormentas (Kluessendorf & Doyle, 2000). Além disso, sinaliza a presença de octópodos primitivos no tempo do “mar Paraguaçu”, na bacia do Paraná. O registro de cefalópodes na bacia do Paraná não é novo. Closs (1969) reportou a ocorrência de cefalópodes goniátídeos, de afinidade carbonífera, em folhelhos marinhos relacionados ao período glacial na porção uruguaia da bacia. Na porção brasileira, os espécimes de *Warthia* sp. presentes na assembleia fossilífera de Taió foram originalmente descritos como *Bellerophon* cf. *micromphalus* por Reed (1930), um cefalópode da fauna permocarbonífera australiana, sendo posteriormente revisado por Rocha-Campos (1964) e reportado por Yochelson & Rocha-Campos (1966), como fósseis de gastrópodes. Assim, a presença de *O. ovalis* na assembleia fossilífera de Taió amplia o registro fóssil de cefalópodes nos mares permocarboníferos da bacia do Paraná, mesmo que apenas por evidências indiretas.

7.3 Conclusões

A partir dos dados obtidos neste trabalho pode-se concluir que as ocorrências dos icnogêneros *Clionolithes* e *Entobia* nas valvas de *H. catharinae* representam a ação de poríferos entolíticos durante o estágio alfa. A ausência dos demais estágios (incrustação e dissolução completa da valva) mostra que as valvas estiveram expostas por um período inferior a seis meses.

As assinaturas tafonômicas observadas nas valvas bioerodidas sinalizam que os Arenitos Taió foram acumulados no *shoreface* inferior, a partir da ação de ondas de tempestades sucessivas e altamente frequentes.

A presença de *Clionolithes* isp. e *Entobia* isp. nas valvas de *H. catharinae* que compõem a assembleia fossilífera de Taió (SC) expande o registro de bioerosão de

poríferos paleozoicos e estende o intervalo temporal do icnogênero *Clionolithes* ao Permiano inferior.

8. ANÁLISE TAFONÔMICA DAS CONCENTRAÇÕES FOSSILÍFERAS DO MEMBRO PARAGUAÇU (FORMAÇÃO RIO BONITO) AFLORANTES EM TAIÓ, SANTA CATARINA, SUL DO BRASIL

HUGO SCHMIDT NETO, RENATA GUIMARÃES NETTO & FRANCISCO
MANOEL WOHN RATH TOGNOLI

PPGeo Unisinos, Av. Unisinos, 950, 93022-000 São Leopoldo RS, Brasil. *paleonetto@gmail.com*,
nettorg@unisinos.br, *ftognoli@unisinos.br*

ABSTRACT – TAPHONOMIC ANALYSIS OF FOSSIL CONCENTRATIONS FROM PARAGUAÇU MEMBER (RIO BONITO FORMATION), TAIÓ, SANTA CATARINA STATE, SOUTHERN BRAZIL. The taphonomic signatures of fossil concentrations preserved preferentially in the fine-grained sandstones of the Paraguaçu Member (Rio Bonito Formation, Lower Permian, Paraná Basin) at Taió, Santa Catarina State (southern Brazil) are analyzed in this paper. They compound a bivalve mollusk-dominated thaphocenosis (*Heteropecten catharinae*, *Astralomya sinuosa*, *Myonia costata*, *Schizodus occidentalis*, *Stutchiburia brasiliensis*, *Edimondia* sp. e *Oriocrassatella itajaiensis*), with subordinate gastropods (*Warthia* sp.), somasteroid echinoderms (Asterozoa and Ophiurozoa), and brachiopods (*Orbiculoidea itajaiensis*). Ichnofossils also occur, represented by burrows in the matrix bearing bioclasts (*Palaeophycus* isp., *Planolites* isp., *Rosselia* isp.) and bioerosion (*Clionolithes* isp., *Entobia* isp., *Oichnus ovalis*) in *Heteropecten catharinae* valves. The taphonomic analysis allowed recognizes two types of biofabrics (matrix-supported and bioclast-supported) and four pavement types (loose or dense, with whole bioclasts of normal-size or dwarf specimens). The taphonomic signatures reveal that the Taió fossil assemblage is parautochthonous, and that the bioclast accumulations represent shell beds formed by moderate to high hydrodynamic energy and high frequency depositional events, being quickly buried in the shoreface-offshore transition zone. The dwarfism observed in some

specimens, especially in the shell beds preserved at the base of the sedimentary succession, suggests environmental stress due to salinity fluctuations and cold waters. Together with the trace fossil content, the record of dwarfism indicates accumulation in marginal marine environments impacted by fresh and cold water input in the coastal setting, possibly due to late deglaciation events in the Gondwana.

Key words: taphonomy, marine invertebrate fossils, ichnology, shoreface-offshore transition, Rio Bonito Formation, Bacia do Paraná.

RESUMO – As assinaturas tafonômicas da assembleia de invertebrados fósseis preservada preferencialmente nos arenitos finos que compõem a sucessão sedimentar do Membro Paraguaçu (Formação Rio Bonito, Permiano Inferior da bacia do Paraná) na região de Taió são aqui analisadas. Trata-se de uma tafocenose dominada por moluscos bivalvíos (*Heteropecten catharinae*, *Astralomya sinuosa*, *Myonia costata*, *Schizodus occidentalis*, *Stutchiburia brasiliensis*, *Edimondia* sp. e *Oriocrassatella itajaiensis*), com ocorrência subordinada de gastrópodes (*Warthia* sp.), equinodermos somasteroides (Asteriodea e Ophiuriodea) e braquiópodes (*Orbiculoidea itajaiensis*). Icnofósseis estão presentes, representados por estruturas de bioturbação na matriz que suporta os bioclastos (*Palaeophycus* isp., *Planolites* isp., *Rosselia* isp.) e de bioerosão (*Clionolithes* isp., *Entobia* isp., *Oichnus ovalis*) nas valvas de *Heteropecten catharinae*. A análise tafonômica dessas concentrações permitiu reconhecer dois tipos de biofábricas (matriz-suportada e bioclasto-suportada) e quatro tipos de pavimentos (frouxos e densos, com predomínio de formas de tamanho normal ou formas anãs). As assinaturas tafonômicas sugerem ser a assembleia fossilífera de Taió parautóctone, cujos acúmulos representam *shell beds* formados pela ação de eventos de moderada a alta energia e com alta frequência deposicional, rapidamente soterrados na zona de transição entre o *shoreface* e o *offshore*. O nanismo observado em alguns espécimes, em especial nos componentes dos *shell beds* da base da sucessão sedimentar, sugere estresse ambiental por flutuação de salinidade e por baixa temperatura da água. Juntamente com as assinaturas icnológicas, indica acúmulo em ambientes marginais marinhos impactados pelo aporte de águas doces e frias nas zonas costeiras, possivelmente devido a eventos tardios de degelo do Gondwana.

Palavras-chave: tafonomia, invertebrados marinhos fósseis, icnologia, transição *shoreface-offshore*, Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná.

INTRODUÇÃO

Uma gama de informações acerca dos paleoambientes, da dinâmica sedimentar, dos regimes de fluxos e das histórias genéticas dos registros fósseis pode ser inferida a partir do estudo tafonômico de concentrações fossilíferas (*e.g.*, Best & Kidwell, 2000; Fürsich & Oschmann, 1993; Houser *et al.*, 2008; Johnson, 1960; Kidwell, 1993; Kidwell *et al.*, 1986; Kidwell & Boscense, 1991; Simões & Torello, 2003; Simões *et al.*, 2000). Esta diversidade de aplicações fez da tafonomia uma ferramenta importante e muitas vezes indispensável para a elaboração de trabalhos paleoecológicos.

Os depósitos arenosos da porção basal do Membro Paraguaçu aflorantes em Taió (Estado de Santa Catarina) contêm uma assembleia de invertebrados marinhos fósseis dominada pela ocorrência de valvas desarticuladas de bivalvíos e, em menor proporção, de gastrópodes, equinodermos e braquiópodes (Schmidt-Neto, 2013). Os estudos prévios enfocando essa fauna fóssil (Rocha-Campos, 1964, 1967, 1970; Rocha-Campos & Simões, 1993) focaram, prioritariamente, a caracterização taxonômica, sendo os aspectos tafonômicos tratados de forma mais superficial e as inferências paleoecológicas breves. Estudos detalhados sobre as assinaturas tafonômicas dessa assembleia e a influência da dinâmica sedimentar na preservação e na mistura temporal dessas concentrações ainda não foram realizados. Visando contribuir para essa abordagem, o presente trabalho tem por objetivos: (i) caracterizar as assinaturas tafonômicas das concentrações fossilíferas de Taió; (ii) identificar os fatores que influenciaram na sua formação; e (iii) inferir o contexto deposicional do local onde os bioclastos foram sepultados.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material estudado nesse trabalho provém de afloramentos situados na zona oeste do município de Taió (Estado de Santa Catarina, Figura 1A) e rastreados a partir do estudo de Rocha-Campos (1964). Para identificá-los, adotou-se o nome do proprietário; apesar de não ser uma metodologia convencional, é bastante útil para

estudos na região, já que as propriedades passam de pai para filho e a comunidade local é bastante atenta às ocorrências fósseis. A amostragem foi complementada com material previamente coletado nos afloramentos estudados e tombado nas coleções do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (São Paulo), do Museu Paleo-Arqueológico e Histórico Prefeito Bertoldo Jacobsen (Taió, Santa Catarina), do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (Porto Alegre, Rio Grande do Sul) e do Museu da História da Vida e da Terra da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (São Leopoldo, Rio Grande do Sul). Os números de identificação das amostras analisadas nesse estudo, sua composição taxonômica e o tipo de concentração fossilífera que caracterizam encontram-se no Anexo 1.

A análise tafonômica das concentrações fossilíferas em afloramentos foi realizada de forma mais detalhada nos afloramentos Alaor (coordenadas UTM 7002522 N/594218 E, *datum* WGS 84), Knut (7001445 N/597230 E), Gentil (7002131 N/599659 E) e Pitola (6997098 N/596022 E), todos na faixa 22J. Seguiram-se, para essa análise, os conceitos propostos por Kidwell *et al.* (1986) e o protocolo tafonômico/paleoautoecológico de Simões & Ghilardi (2000). O tratamento das assinaturas tafonômicas foi baseado nos conceitos propostos por Johnson (1960), Kidwell *et al.* (1986) e Fürsich & Oschmann (1993). Utilizou-se um quadrado de 1 m x 0,7 m para a coleta orientada, cuja prospecção se deu da esquerda para direita e da parte inferior para a superior, no afloramento Knut (Figura 1A). Este afloramento foi escolhido para a aplicação da técnica de quadrado por apresentar uma sucessão vertical baixa, mostrando variações litológicas que favorecem o mapeamento dos níveis fossilíferos dentro das camadas.

Para a definição de tamanho dos bioclastos inteiros, adotou-se o seguinte critério, baseado na medida do comprimento das valvas de moluscos e no diâmetro das valvas de braquiópodes e do corpo de equinodermas (incluindo apêndices): espécimes anões (≤ 5 mm) e espécimes normais (> 5 mm), os quais podem apresentar tamanho pequeno (> 5 mm e ≤ 10 mm), médio (>10 mm e ≤ 40 mm) e grande (> 40 mm). A identificação taxonômica dos espécimes presentes na assembleia foi feita a partir de Rocha-Campos (1970) e Rocha-Campos & Simões (1993).

A distinção da orientação da convexidade das valvas nas amostras de coleções somente foi considerada quando ambas ocorriam de forma conjunta, devido à impossibilidade de inferir base e topo das camadas, já que não foram coletadas originalmente para fins de estudos tafonômicos.

GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Os depósitos que contêm a assembleia fóssilífera de Taió afloram na porção oeste do município de Taió (Figura 1A) e caracterizam a base do Membro Paraguaçu da Formação Rio Bonito na área de estudo (Figura 1B). Esses depósitos foram informalmente denominados “Arenitos Taió” (ou “Camadas Taió”, Castro, 1987), e compõem a Supersequência Gondwana I (SGI) de Milani *et al.* (2007), que representa o maior ciclo transgressivo-regressivo da bacia do Paraná em termos de tempo e espessura sedimentar preservada (Figura 1B).

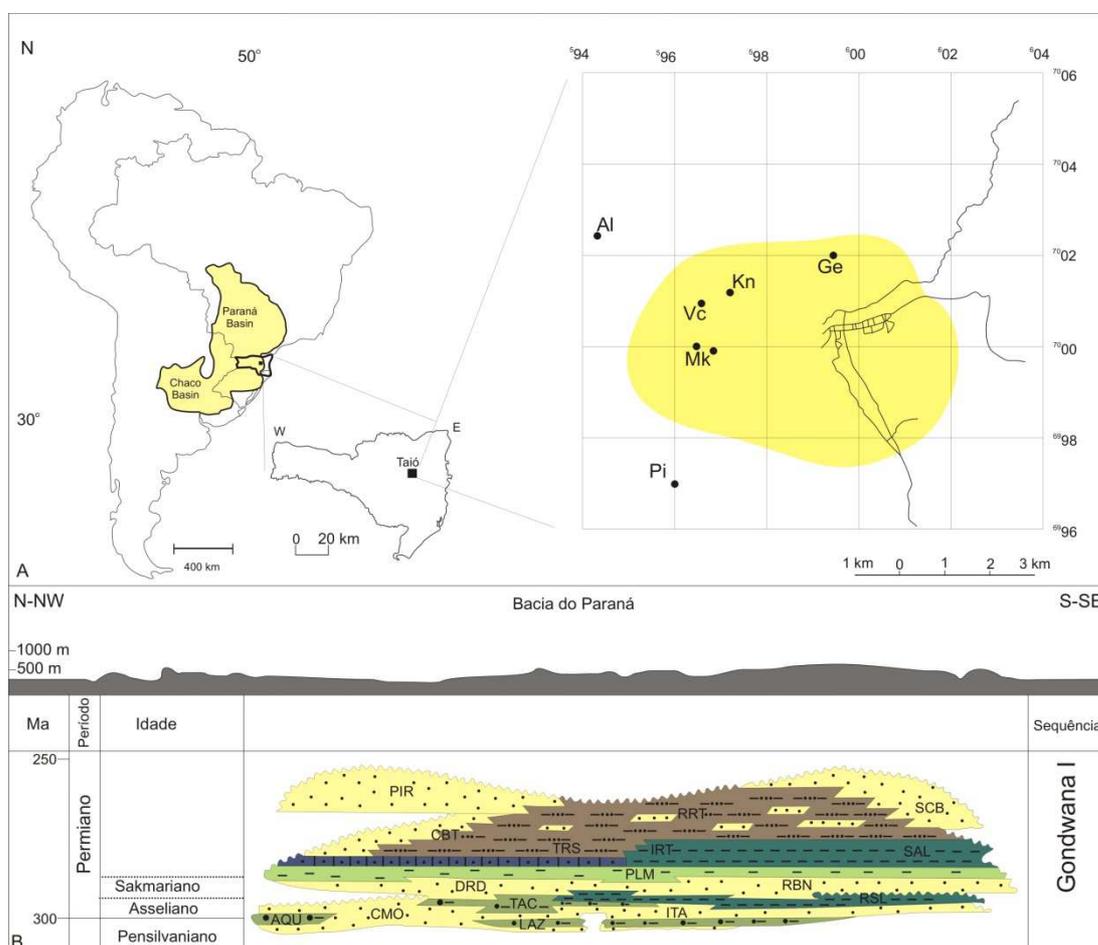


Figura 1. Situação geográfica e geológica da área de estudo. **A**, mapa de localização dos afloramentos estudados. A área urbana do município de Taió é destacada em amarelo. **B**, carta cronolitoestratigráfica da Supersequência Gondwana I (adaptada de Milani *et al.*, 2007). Abreviações: afloramentos – Al, Alaor; Pi, Pitola; Mk, Morro Kramær; Vc, Valmir Catoni; Kn, Knut; Ge, Gentil; unidades estratigráficas – AQU, Formação Aquidauana; CBT, Formação Corumbataí; CMO, Formação Campo Mourão; IRT, Formação Irati; ITA, Grupo Itararé; LAZ, Formação Lagoa Azul; PIR, Formação Piramboia; PLM, Formação Palermo; RBN, Formação Rio Bonito; RRT, Formação Rio do Rastro; RSL, Formação Rio do Sul; SAL,

Formação Serra Alta; SCB, Formação Sanga do Cabral; SM, Formação Santa Maria; TAC, Taciba Formation; TRS, Teresina Formation.

WSW

ESE

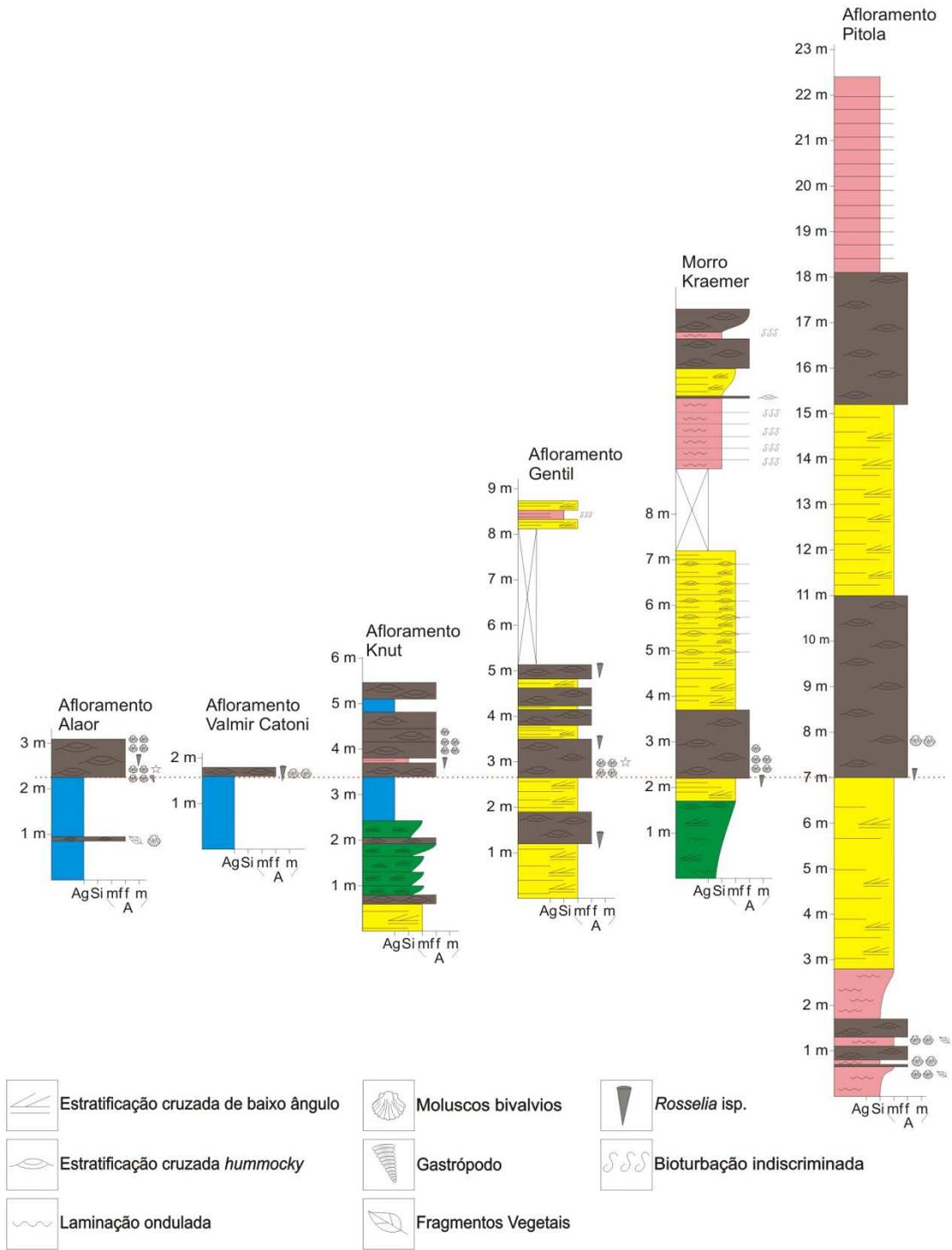


Figura 2. Representação esquemática do empilhamento sedimentar da porção do Membro Paraguaçu (Formação Rio Bonito) aflorante na área de estudo (afloramentos Alaor, Valmir Catoni, Knut, Gentil, Morro Kraemer e Pitola). A base dos pacotes amalgamados da fácies Shcs contendo *shell beds* com bioclastos de espécimes de tamanho normal serviu de *datum* para correlação dos perfis. A distância entre os afloramentos não está representada.

Arenitos finos intercalados a heterolitos com domínio de fração siltica, siltitos e argilitos compõem a sucessão sedimentar observada na área de estudo, com destaque para as camadas amalgamadas de arenito muito fino e fino com estratificação cruzada *hummocky* que abrigam a maior parte das concentrações fossilíferas (Figura 2). Essa sucessão foi detalhada por Schmidt-Neto (2013), que reconheceu quatro fácies sedimentares, a partir da dominância de depósitos heterolíticos (Hw), de arenitos muito finos com estratificação cruzada *swaley* (Sscs), de arenitos muito finos com *ripples* (Sw), de arenitos finos com estratificação cruzada *hummocky* (Shcs) e de argilitos (Mm).

Aa base da sucessão sedimentar estudada é composta pelo conjunto das fácies Hw, Sscs e Sw. A fácies Hw é composta por heterolitos siltico-argilosos na base, gradando para heterolitos siltico-arenosos no topo com acamadamento ondulado (Figuras 2, 3A-B), ricos em fitodetritos e contendo espécimes nanicos de moluscos bivalvíos e uma icnofauna pobre, composta apenas pela ocorrência incipiente de icnofábrica de *Planolites* (Schmidt-Neto, 2013). Sobre – e, por vezes, intercalados aos heterolitos basais – se assentam os depósitos da fácies Sscs e Sw (Figura 3A). A fácies Sscs é representada por siltitos que gradam a arenitos muito finos contendo acamadamento ondulado, estratificação cruzada de baixo ângulo, estratificação cruzada *swaley*, intercaladas por delgados níveis argilosos (Figuras 2, 3A-B). Já fácies Sw é composta por arenitos muito finos com matriz lamosa e discretas intercalações de lâminas siltico-argilas que formam pacotes de geometria lenticular e apresentam estratificação cruzada de baixo ângulo, com truncamentos, concavidades e algumas convexidades preservadas (Figuras 2, 3A,C). Localmente, observam-se estruturas *flaser*. Caracterizam deposição em contexto de *shoreface*, possivelmente ainda na zona de ação das ondas normais. A icnofábrica de *Planolites-Palaeophycus* ocorre de modo incipiente na base da sucessão da (Schmidt-Neto, 2013). Argilitos maciços contendo algas prasinófitas (acritarcos), palinoforaminíferos e escolecodontes (Staudt, 2013) compõem a fácies Mm (Figuras 2, 3D) e se assentam sobre os depósitos basais, ora recobrimo a fácies Sscs, ora a fácies Sw.

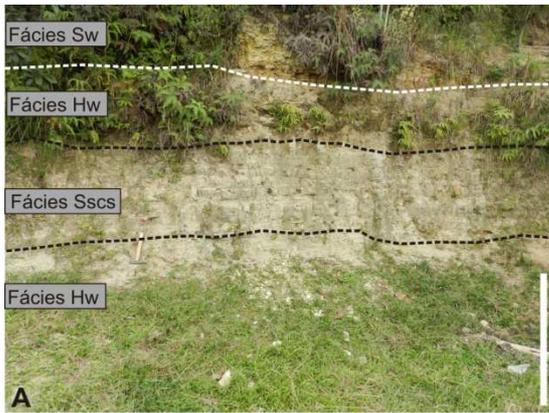


Figura 3. Fácies sedimentares da sucessão sedimentar do Membro Paraguaçu exposta na área de estudo. **A**, vista geral dos depósitos basais representados pelas fácies Hw, Sscs e SW, sendo a primeira recorrente ao longo de toda a sucessão basal. **B**, detalhe da fácies Hw com intercalação da fácies Sscs. **C**, detalhe da fácies Sw, evidenciando a estratificação cruzada de baixo ângulo e os topos de algumas *ripples* discretamente preservados. **D**, fácies Mm. **E**, arenitos amalgamados da fácies Shcs; note a geometria lenticular truncada e a preservação de algumas convexidades. **F**, *shell bed* preserved in Shcs facies. **G**, icnofábrica de *Rosselia* isp.. **H**, fácies Hw arenosa do topo da sucessão sedimentar contendo icnofábrica dominada por *Rosselia-Cyindrichnus*. Escalas: 1 m (A), 10 cm (B-F), 10 mm (G-H).

Camadas amalgamadas de arenitos finos com estratificação cruzada *hummocky* contendo ocorrência expressiva de icnofábrica monoespecífica de *Rosselia* isp. na base e diferentes *lags* fossilíferos caracterizam a fácies Shcs (Figuras 2, 3E-G) e são observadas em toda a área de estudo. Esses arenitos se assentam ora sobre os heterolitos (fácies Hw) e arenitos (fácies Sw) basais, ora sobre os argilitos (fácies Mm), apresentando contato basal erosivo. Caracterizam deposição abaixo do nível de ação das ondas normais, possivelmente em *shoreface* inferior. Os depósitos das fácies Sscs e Shcs são recorrentes no terço médio-superior da sucessão na área de estudo após a primeira ocorrência da fácies Shcs, mas não apresentam concentrações fossilíferas – apenas a icnofábrica de *Rosselia* é observada. O topo da sucessão é marcado pelo retorno da fácies Hw com composição siltico-arenosa, mostrando acamadamento ondulado e presença de icnofábrica composta, dominada por *Rosselia* isp., tendo *Cyindrichnus*, *Skolithos*, *Diplocraterion* e tubos verticais e inclinados indeterminados como elementos subordinados (Figuras 2, 3H). Fósseis corpóreos não são observados nesses heterolitos.

O conjunto das litologias e estruturas sedimentares observadas indica deposição em ambiente marinho plataformal, com domínio da deposição abaixo do nível de ação das ondas normais. As assinaturas icnológicas e de palinofácies dos depósitos basais (melhor observados no afloramento Pitola), contudo, sugerem deposição em ambientes mais proximais em relação à costa, permitindo inserir a sucessão sedimentar estudada em um contexto de trato de sistemas transgressivo (Schmidt-Neto, 2013). Esse contexto paleoambiental e estratigráfico é coerente com o inferido por Tognoli (2006) para os depósitos basais do Membro Paraguaçu na região de Taió, a partir de dados de subsuperfície.



Figura 4. Componentes da assembleia fossilífera de Taió. A, *Heteropecten catharinae*; B, *Schizodus occidentalis*; C, *Australomya sinuosa*; D, *Myonia costata*; E, *Edmondia* sp.; F, *Oriocrassatella itajaiensis*; G, *Warthia* sp.; H, *Asteroidea*; I, *Ophiuroidea*, *Stutchburia brasiliensis*. A, UMVT 10749; B, UMVT 5095; C, P 0117; D, 7884; E, GP/IE 1107; F, GP/IE 1091; G, UMVT 5018; H, UMVT 4934; I, UMVT 10750. Escalas: 10 mm.

ASPECTOS TAFONÔMICOS

Assinaturas tafonômicas

A assembleia fossilífera de Taió é composta predominantemente por moluscos bivalvíos epifaunais (*Heteropecten catharinae*) e infaunais (*Australomya sinuosa*, *Myonia costata*, *Schizodus occidentalis*, *Stutchburia brasiliensis*, *Edmondia* sp. e *Oriocrassatella itajaiensis*), gastrópodes epifaunais (*Warthia* sp.), braquiópodes discinídeos epifaunais pedunculados (*Orbiculoidea itajaiensis*) e equinodermos somasteroides (Asteroidea e Ophiuroidea). (Figura 4). *Heteropecten catharinae* é o principal componente dessa assembleia, representando cerca de 90% dos fósseis corpóreos. Espécimes de *Orbiculoidea itajaiensis* e de equinodermos são raros, os últimos ocorrendo em maior proporção que os primeiros. Essa assembleia é complementada pela ocorrência de estruturas de bioturbação na matriz que suporta os bioclastos, atribuídas à atividade de poliquetos (*Rosselia* isp.), artrópodes anfípodas (*Palaeophycus* isp.) e organismos vermiformes de afinidade incerta (*Planolites* isp.), e de bioerosão nas valvas de *H. catharinae*, por espongiários clionídeos (*Clionolithes* isp. e *Entobia* isp.) e moluscos cefalópodes octópodes (*Oichnus ovalis*).

Ocorre preservada tanto de forma tridimensional (biofábricas) como bidimensional (pavimentos) nos heterolitos da fácies Hw e nos arenitos finos da fácies Shcs (Figura 2). Todo o material está preservado na forma de moldes e contramoldes internos e externos, e moldes internos compostos (tal como previamente observado por Rocha-Campos, 1966), e pelo menos 90% dos bioclastos estão inteiros. Três afloramentos permitiram uma melhor caracterização das assinaturas tafonômicas, na área de estudo: Knut, Alaor e Gentil (Figura 1).

Afloramento Knut. A base da camada que contém a assembleia fossilífera de Taió no afloramento Knut, se caracteriza pela ocorrência da icnofábrica de *Rosselia* em caráter monoespecífico e contendo moderado a alto índice de bioturbação (index 4-5 de Reineck *et al.*, 1967) (Figuras 5A-B). Por sobre essa base, ocorrem três níveis distintos contendo

pavimentos compostos exclusivamente por valvas de *Heteropecten catharinae* (Figuras 5A, C-E). Os pavimentos dos níveis basal e medial apresentam concentrações densas a frouxas, com os bioclastos dispostos de forma concordante em relação à camada, convexidades dispostas tanto para cima quanto para baixo e orientação randômica (Figura 5C, 7A). Predominam bioclastos com baixo grau de fragmentação, e bioclastos inteiros de tamanho médio. Bioclastos articulados, feições de aninhamento ou de imbricação não foram observados, mas sinais de bioerosão podem ser vistos em alguns exemplares (Figura 5D). O último pavimento desse bloco contém apenas exemplares dispersos de valvas inteiras, desarticuladas, dispostas de forma concordante à camada. Seus tamanhos são grandes e não apresentam sinais de bioerosão (Figura 5E).

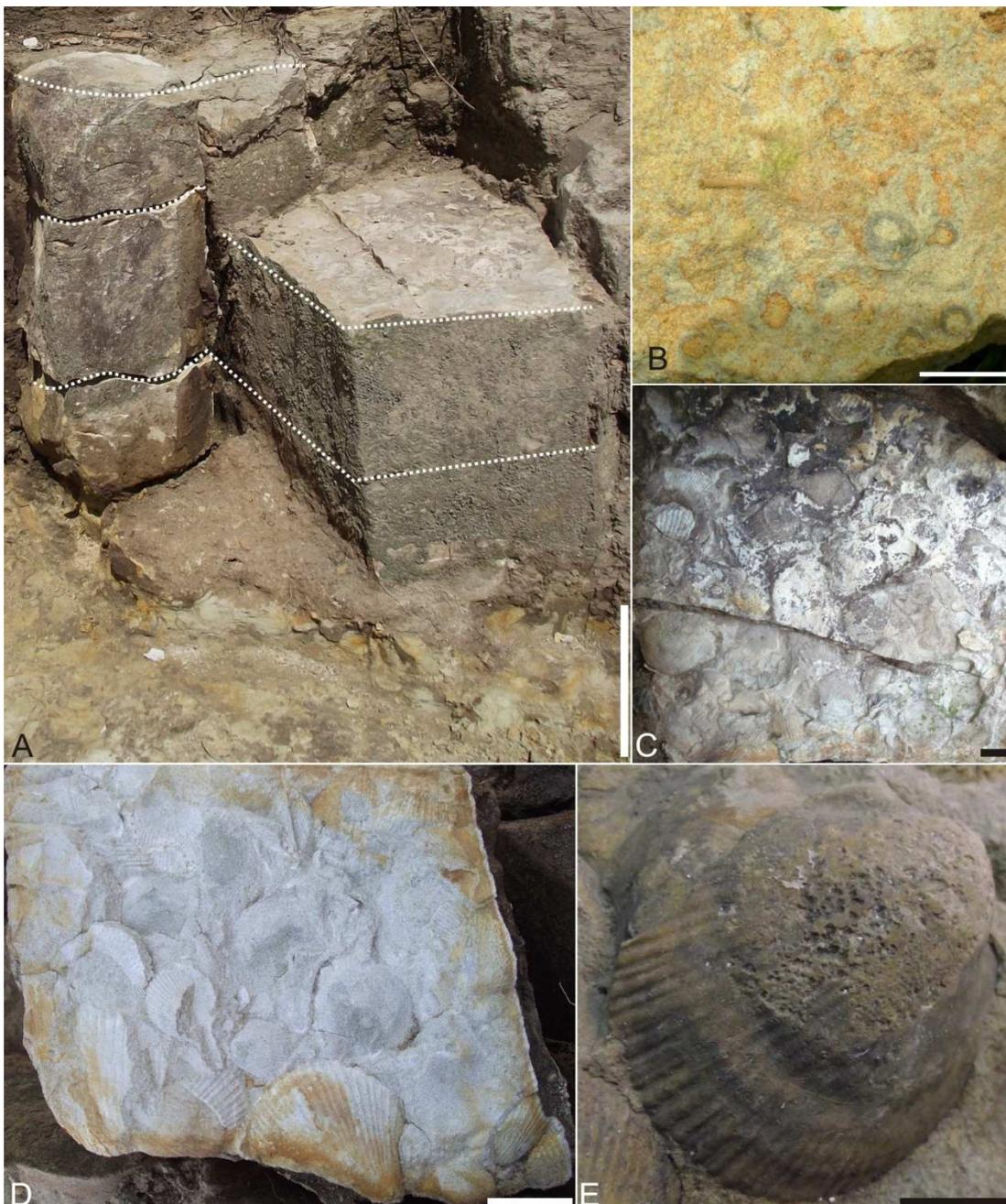


Figura 5. Afloramento Knut. **A**, diferentes níveis de ocorrência de *shell beds* na fácies Shcs. **B**, icnofábrica de *Rosselia* isp. presente na matriz que suporta os bioclastos, abaixo dos pavimentos fossilíferos. **C-D**, detalhe do segundo nível de *shell beds*. **E**, valva de *Heteropecten catharinae* com *Entobia* isp. (estrutura de bioerosão). Escalas: 10 mm.

Afloramento Alaor. Nessa localidade, a assembleia fossilífera é registrada em dois níveis, sendo representada por moluscos bivalvíos e gastrópodes e por um espécime de equinodermo asteroide (Figura 6). As acumulações de bioclastos ocorrem de forma frouxa à densa, sempre dispostos de forma concordante ao plano da camada e com uma orientação azimuthal randômica (Figuras 6B, 7B). As convexidades das valvas se preservam tanto para cima quanto para baixo e o asteroide está disposto com a região aboral orientada para cima (Figura 6C). O grau de fragmentação dos bioclastos é baixo e ocorrem bioclastos inteiros de todas as classes de tamanho. Apesar das valvas ocorrerem de forma desarticulada, o asteroide se encontra articulado. Alguns bioclastos mostram sinais de bioerosão (Figura 6D).



Figura 6. Afloramento Alaor. **A**, espécimes de moluscos epifaunais e infaunais. **B**, espécime de gastrópode (à esquerda) e de *Heteropecten catharinae* bioerodido (direita). **C**, exemplar de Asteroidea. Escalas: 10 mm.

Afloramento Gentil. A assembleia fóssil preservada no afloramento Gentil é recorrente em duas camadas dispostas no terço inferior da sucessão sedimentar e é composta por moluscos bivalvíos, equinodermos asteroides e ofiuroides, e por braquiópodes discinídeos (Figura 4). Os bioclastos formam um pavimento frouxo e mostram-se dispostos de forma concordante ao plano da camada e com convexidade das valvas preservada tanto para cima quanto para baixo (Figura 6E). Os equinodermos de forma geral se encontram com a região aboral orientada para cima (Figura 4H). Assim como no afloramento Alaor, o grau de fragmentação é baixo e se observam bioclastos inteiros de todas as classes de tamanho. Apesar de os bioclastos estarem em sua maioria desarticulados, espécimes articulados de equinodermos e moluscos são observados, em menor grau. Feições de aninhamento, empilhamento e imbricação ou sinais de bioerosão não foram observados.

Caracterização das biofábricas e pavimentos

Dois tipos de biofábricas e quatro tipos de pavimentos (Tabela 1) puderam ser diferenciados nas concentrações fossilíferas da assembleia de Taió, de acordo com o grau de empacotamento dos bioclastos. As biofábricas são compostas exclusivamente por bioclastos representantes de conchas de moluscos bivalvíos e univalves da infauna e epifauna. Essas conchas estão conservadas na forma de moldes internos e externos, dispostas tanto com as convexidades para cima quanto para baixo, formando dois graus de empacotamento, de acordo com a proporção matriz-bioclasto. Nas biofábricas matriz-suportadas (tipo I), os bioclastos formam um empacotamento frouxo e estão dispostos em posição perpendicular, oblíqua e concordante, em relação ao plano da camada (Figura 8A). Predominam bioclastos inteiros de tamanhos variados e, à exceção de um exemplar da infauna, que ocorre articulado fechado, o restante dos espécimes bivalvíos mostra-se desarticulado (Figura 8B). Pontualmente, observa-se o aninhamento de alguns bioclastos (Figura 8C). Apesar de raras, bioerosões estão presentes em conchas isoladas. Nas biofábricas bioclasto-suportadas (tipo II), o empacotamento é denso e as conchas se dispõem de forma oblíqua e concordante ao plano da camada (Figura 8D). Os bioclastos apresentam-se desarticulados, com tamanho médio a grande e índice de fragmentação

maior que nas biofábricas tipo I (Figura 8E). Formam aninhamentos, empilhamentos e imbricações (Figura 8F). Sinais de bioerosão e de mistura temporal estão presentes.

Os quatro diferentes tipos de pavimentos observados mostram variações na concentração e no tamanho dos bioclastos inteiros. Valvas de moluscos bivalvíos ocorrem em todos os pavimentos, sendo os bioclastos dominantes. Gastrópodes, equinodermos e braquiópodes ocorrem localmente. Os pavimentos tipo I e III apresentam concentrações densas, enquanto que os tipos II e IV mostram concentrações frouxas. Os bioclastos ocorrem orientados de forma bimodal à aleatória e, à exceção do pavimento tipo II, estão dispostos de forma concordante ao plano da camada. Sinais de bioerosão estão presentes e bem preservados em todos os pavimentos (Figuras 4B, 5E, 6B). Os pavimentos tipo I e II são compostos por conchas de moluscos bivalvíos da infauna e epifauna, univalves da epifauna e equinodermos asteroides. As valvas estão dispostas com as convexidades tanto para cima quanto para baixo e os equinodermos se preservam de forma articulada, com a região aboral orientada para cima. Com exceção das formas nanicas, todas as classes de tamanho são observadas nesses pavimentos.

Tabela 1. Caracterização das concentrações fossilíferas em forma de biofábrica e pavimentos

Acumulação	Caracterização física	Disposição dos bioclastos convexos	Grupo orgânicos
Biofábrica I	Maior quantidade de matriz sedimentar	Concordante, perpendicular e oblíqua	Moluscos gastrópodes e bivalvíos epifaunais e infaunais
Biofábrica II	Maior quantidade de bioclastos	Concordante e oblíqua	Moluscos bivalvíos epifaunais e infaunais
Pavimento I	Pouco ou nenhum espaço entre os bioclastos	Concordante	Gastrópodes, bivalvíos e equinodermos
Pavimento II	Bioclastos dispersos sobre a superfície	Concordante	Gastrópodes, bivalvíos, equinodermos e braquiópodes
Pavimento III	Pouco ou nenhum espaço entre os bioclastos	Concordante	Bivalvíos
Pavimento IV	Bioclastos dispersos sobre a superfície	Concordante	Bivalvíos

No pavimento tipo I, são observadas tanto concentrações com o predomínio de bioclastos inteiros de tamanhos variados quanto concentrações com bioclastos fragmentados. Com exceção dos equinodermos, que foram preservados de forma articulada, os demais bioclastos se apresentam de forma desarticulada. Foram constatados bioclastos aninhados (Figuras 5C-D, 9A) e sinais de bioerosão estão bem preservados (Figuras 5E, 9A). As concentrações do pavimento tipo I podem ser ainda

divididas em duas subcategorias: uma dominada por concentrações de conchas inteiras, com poucos fragmentos (Figura 9A) e outra dominada por fragmentos, contendo algumas conchas inteiras (Figura 9B). No pavimento II, o grau de fragmentação é muito baixo. Os aninhamentos são pouco comuns e alguns bioclastos estão imbricados por estarem em contato com outras valvas.

O pavimento tipo III é composto exclusivamente por *Myonia* (Figura 9A). Predominam bioclastos inteiros e que se enquadram dentro das dimensões do grupo de formas anãs. Apesar de todos os espécimes mostrarem-se desarticulados e as valvas dispostas com uma mesma orientação no plano da camada não foi possível definir se as convexidades estão para cima ou para baixo, por se tratar de amostras de coleção. Não foram observadas feições de aninhamento, empilhamento ou imbricação. No pavimento tipo IV, o grau de fragmentação é muito baixo e todos os bioclastos foram preservados de forma desarticulada, mostrando-se bioerodidos (Figura 9B).

Análise tafonômica

Todas as concentrações bioclásticas são formadas por exoesqueletos calcários e fosfáticos de invertebrados marinhos de águas rasas. O grau de empacotamento dos fósseis estudados é variável, desde disperso até denso. Os moluscos representam 99% das ocorrências; os equinodermos são o segundo grupo mais frequente, com 1% das ocorrências. Devido à desproporção, os braquiópodes não são representativos (Figura 10).

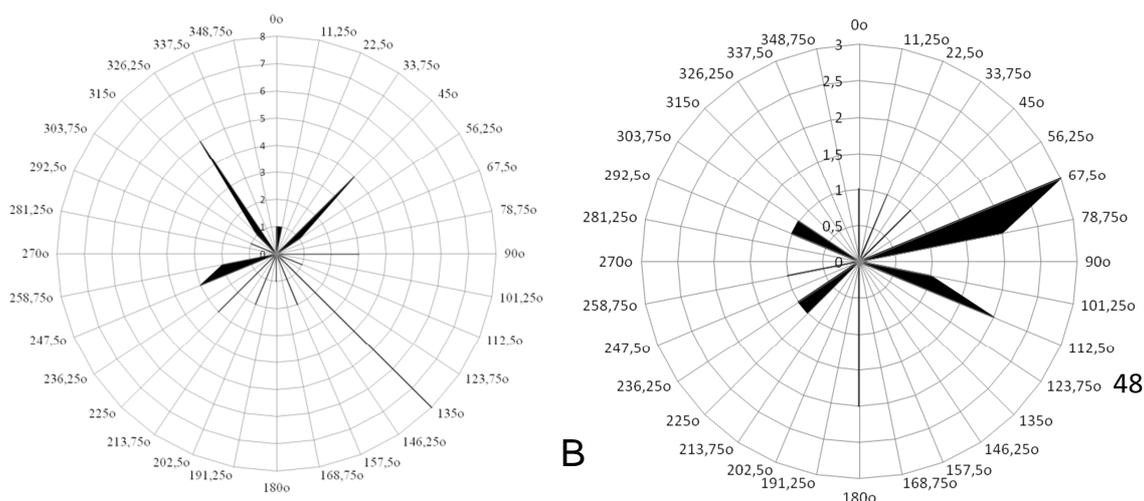
A assembleia fóssil estudada caracteriza uma tafocenose pouco diversificada e dominada por valvas esquerdas de *Heteropecten catharinae* (Figura 10), que correspondem a cerca de 70% do total de valvas. Apesar de menos comuns, as valvas direitas ocorrem em pelo menos em 40% da amostragem, estando preservadas nos mesmos pavimentos que contêm exoesqueletos articulados de equinodermos e de braquiópodes. Sinais de bioerosão ocorrem em pelo menos 10% dos bioclastos de bivalvíos e são observados em todos os pavimentos e biofábricas (Figuras 5E, 6D, 9B). Dominam perfurações atribuídas à fixação de larvas de poríferos clionídeos (*Clionolithes* isp., *Entobia* isp.) (Figuras 5C,E, 6B, 9A) durante o estágio ontogenético alfa (inicial), e, mais raramente, à predação por octópodes (*Oichnus ovalis*) (Schmidt-Neto et al., 2013).

O grau de empacotamento dos bioclastos é variado, desde disperso até denso, indicando flutuações na energia hidrodinâmica dos processos que retrabalham os

bioclastos desde sua disponibilização na superfície do substrato até o soterramento final (*e.g.*, biofábrica tipo II) (Kidwell *et al.*, 1986; Allen, 1990; Kidwell & Bosence, 1991; Fürsich & Oschmann, 1993; David *et al.*, 2012). Valvas dispostas com a convexidade tanto para cima quanto para baixo são vistas em todos os tipos de concentrações e sugerem ação de fluxos de fundo ou de organismos bioturbadores, remobilizado o sedimento e os bioclastos (Kidwell, 1986; Allen, 1990; Kidwell & Bosence, 1991; Simões & Kowalewski, 1998; Simões *et al.*, 2000).

O grau de desarticulação e fragmentação dos bioclastos é alto, mas a frequência de valvas fragmentadas é baixa. O predomínio de valvas desarticuladas pode ser tanto consequência da ação de eventos mais energéticos como da existência de tempo para desarticulação das valvas entre a morte do animal e o soterramento. Contudo, o pequeno percentual de valvas fragmentadas e a presença de conchas e de equinodermos articulados na assembleia, mesmo que em menor proporção, sugere existência pontual de condições menos energéticas e rápido soterramento. (*e.g.*, Allen, 1990). A presença de bioerosão indica que houve tempo de exposição dos organismos da epifauna na interface sedimento/água (*e.g.*, Kowalewski, 1996; Simões & Torello, 2003).

Apesar da observação de quatro classes de tamanhos entre os bioclastos inteiros, há um predomínio daqueles de tamanho médio, sugerindo ou uma seleção preferencial por um regime hidráulico pelo menos moderado (Kidwell & Bosence, 1991; Fürsich & Oschmann, 1993) ou a predominância de jovens adultos na população de moluscos, considerando que *H. catharinae* se caracteriza por seu tamanho avantajado em relação aos demais pectinídeos gonduânicos permocarboníferos (Kegel & Costa, 1951). A diminuição do tamanho dos bioclastos adultos é observada de forma mais acentuada nos equinodermas, podendo refletir formas de águas mais profundas (*offshore*, pelo menos; Stöhr *et al.*, 2012) ou adaptações a águas frias (Martín-Ledo, 2010), já que a simetria radial e o completo desenvolvimento dos braços nos espécimes preservados indicam tratar-se de formas adultas.



A

Figura 7. Gráficos em roseta com a orientação dos bioclastos. **A**, afloramento Alaor. **B**, afloramento Knut.

DISCUSSÃO

Todas as concentrações bioclásticas aqui estudadas caracterizam uma tafocenose ecologicamente politípica (Kidwell *et al.*, 1986), composta por exoesqueletos calcários e fosfáticos de invertebrados marinhos de águas rasas e de águas frias (*e.g.*, Beurlen, 1954; Dickins, 1961; Rocha-Campos, 1970; Runnegar & Newell, 1974; Rocha-Campos & Rösler, 1978; Runnegar, 1979; Begg & Ballard, 1991; Rocha-Campos & Simões, 1993). Os braquiópodes são representados exclusivamente por discinídeos, cuja participação na composição da tafocenose é incipiente (0,1%). Essa baixíssima frequência pode ser decorrente da composição fosfática das conchas de braquiópodes, cujo potencial de preservação é menor que as dos moluscos, que possuem composição carbonática (*e.g.*, Brett, 1990; Kowalewski, 1996). Assim, o maior grau de fragmentação e a diluição das valvas fosfáticas na Zona Tafonomicamente Ativa podem ter impactado negativamente no registro de braquiópodes na assembleia fossilífera de Taió (*e.g.*, Kidwell & Bosence, 1991; Cherns *et al.*, 2008). Essa frequência de ocorrência acompanha as mudanças que ocorreram no final do Carbonífero e início do Permiano, quando as populações de moluscos passaram a apresentar uma maior densidade e diversidade em ambientes marinhos (*e.g.*, Sterren & Cisterna, 2010; González, 2006). Na assembleia fossilífera de Taió, contudo, apenas uma maior densidade é observada, já que a diversidade é baixa. Mesmo assim, essa assembleia se equivale às assembleias de moluscos preservadas nas margens austrais dos mares do Gondwana, caracterizadas por poucas espécies e por uma grande quantidade de indivíduos (Beurlen, 1954; Rocha-Campos, 1967).

As características observadas na assembleia fossilífera de Taió são próprias das formações de *shell beds* encontradas nos depósitos paleozoicos, formados por concentrações pouco espessas e de menor complexidade interna (*e.g.*, Simões *et al.*, 2000; Sterren, 2008). A forma como a maior parte dos bioclastos é preservada sinaliza um ambiente sujeito a eventos de moderada a alta energia hidrodinâmica. O grau de

empacotamento dos bioclastos e a disposição variada das valvas, sua distribuição randômica (Figura 7), com posições hidrodinâmicas estáveis e instáveis (Allen, 1990), e a ocorrência de aninhamentos, empilhamentos e imbricações sugerem que o material foi retrabalhado pela ação de ondas e/ou correntes de fundo. Quanto maior é a energia dos processos de fundo ou o tempo de retrabalhamento, maior a abrasão e a fragmentação dos bioclastos (*e.g.*, Brett, 1990; Simões & Torello, 2003). Na assembleia fossilífera de Taió, contudo, menos de 20% dos bioclastos estão fragmentados e sinais de abrasão não foram observados sugerindo um rápido soterramento dos *shell beds*. A pouca espessura *shell beds* e a maior concentração de bioclastos no topo das camadas da fácies Shcs sugerem acúmulo em zonas mais distais da plataforma, dentro da zona do *shoreface* inferior até o *offshore transition*. Contudo, considerando o aspecto amalgamado dos arenitos da fácies Shcs (onde a maior parte das concentrações ocorre), não se pode descartar que parte dos bioclastos originalmente depositados tenha sido remobilizada e transportada para outras partes da bacia, com menor potencial de preservação.

As formas preservacionais de *Clionolithes* isp. e *Entobia* isp. presentes em *H. catharinae* também sugerem que o tempo de disponibilização das valvas na superfície do substrato foi curto. Segundo Goreau & Hartman (1963), as larvas de clionídeos iniciam o processo de fixação imediatamente após o contato com o substrato carbonático e a colonização do interior de uma valva ocorre em um período máximo de seis meses (Evans, 1969). O fato de as valvas bioerodidas terem apenas uma pequena área de sua superfície tomada pela bioerosão e de não se observar bioerosão em valvas fragmentadas indica um tempo muito curto de permanência desses bioclastos sobre o substrato.

A ocorrência pontual de equinodermos e bivalvíos articulados na assembleia fossilífera de Taió é mais uma evidência indicativos de eventos promotores do soterramento rápido e abrupto das concentrações. Apesar de bivalvíos articulados serem observados em acumulações formadas em zona de *foreshore* de praias modernas após eventos de tempestades, seu registro fóssil é raro. Bivalvíos raramente ocorrem de forma articulada porque os tecidos que unem as valvas são degenerados rapidamente por ação bacteriana e mecânica (*e.g.*, Schäfer, 1972; Allen, 1990; Brett, 1990; Kidwell & Bosence, 1991; Fürsich & Oschmann, 1993; Simões & Kowalewski, 1998; Simões & Ghilardi, 2000; Simões & Torello, 2003; David *et al.*, 2012). De fato, conchas articuladas fechadas podem ser transportadas se levadas em suspensão em fluxos mais densos e de maior velocidade, e serem depositadas em zonas distantes daquela onde vivia o animal (Cadée, 2002). Contudo, a manutenção das valvas fechadas implica que o

animal permaneceu vivo ao longo desse transporte, sendo soterrado imediatamente após sua deposição no substrato. No caso dos equinodermos, o exoesqueleto se torna muito frágil após a morte do animal, ficando suscetível à desarticulação e dissolução (e.g., Brett, 1990; Kroh & Nebelsick, 2010), num espaço que varia desde algumas horas a poucos dias (Schäfer, 1972). Dessa forma, as assinaturas observadas nas concentrações fossilíferas de Taió sugerem que a maioria dos bioclastos foi depositada dentro da área de vida dos organismos, enquanto que outros podem ter sido trazidos de zonas adjacentes. Considerando que o conjunto de bioclastos pertence a organismos com distribuição preferencial entre o *shoreface* e o *offshore* e que as fácies da sucessão sedimentar estudada caracterizam, preferencialmente, depósitos dessas zonas, pode-se comparar o padrão da assembleia fossilífera de Taió com o Modelo II de Johnson (1960:1078).

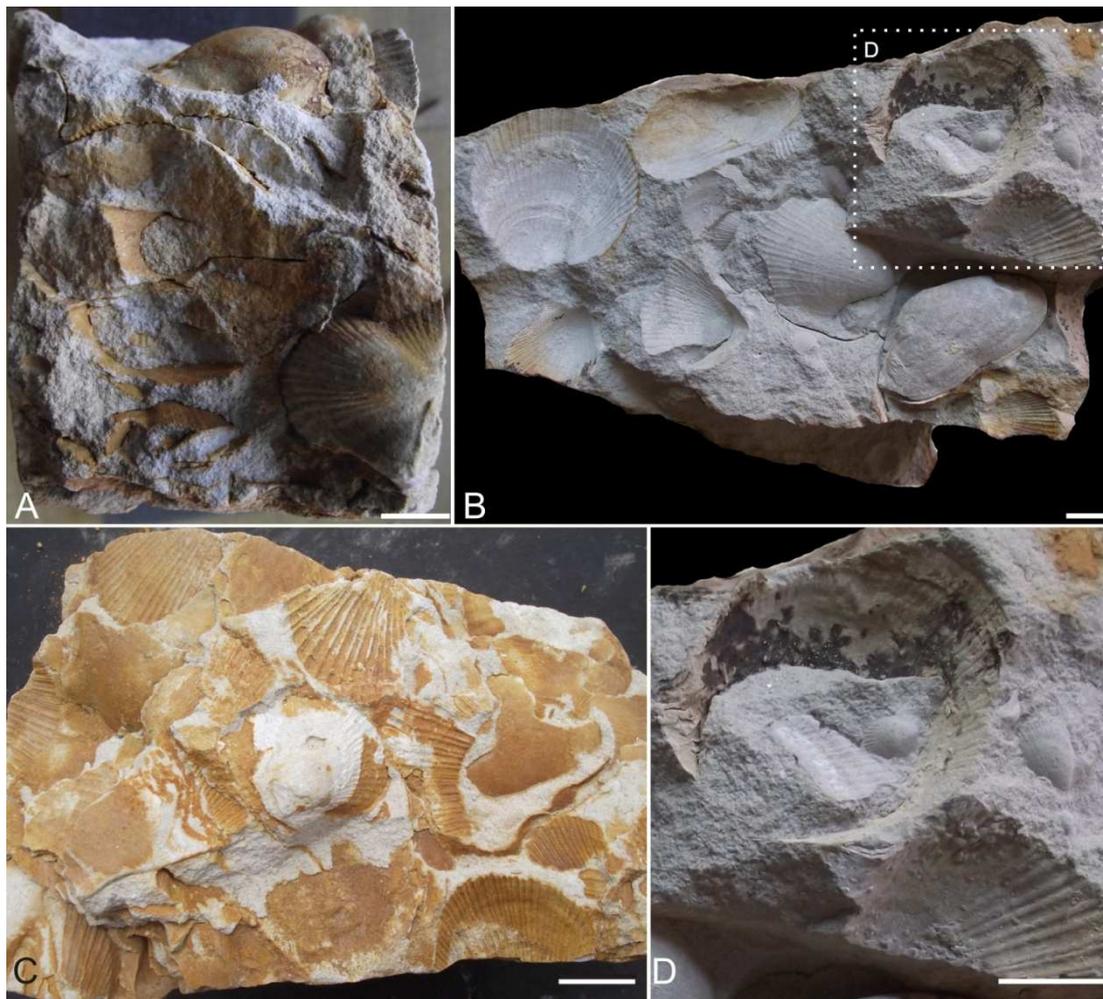


Figura 8. Biofábricas. **A**, vista lateral de biofábrica matriz-suportada contendo bioclastos dispostos em várias posições. **B**, biofábrica matriz-suportada contendo espécimes da infauna com as valvas articuladas

e fechadas e diversas classes de tamanho. **C**, biofábrica bioclasto-suportada. **D**, detalhe de C mostrando o aninhamento de bioclastos. Amostras UMVT 5018 (A), UMVT 5456 (B, D) e P 0134 (C) (ver Anexo 1). Escalas: 10 mm.

Moluscos pectínídeos possuem uma vida relativamente longa (Barnes, 1984) e crescimento contínuo até o momento em que as linhas de crescimento se fusionam, passando a ser indistinguíveis (Mason, 1957). Nenhum espécime mostrando linhas de crescimento fundidas ou indistinguíveis foi observado na assembleia de Taió, mesmo nas formas de tamanho grande, o que sugere uma população jovem. Essa inferência também é válida ao comparar-se *H. catharinae*, o maior pectínídeo gunduânico permocarbonífero (Kegel & Costa, 1951) com o maior pectínídeo moderno, *Pecten maximus*, também habitante de águas frias. De acordo com Mason (1983), *P. maximus* possui valvas com até 15 cm de comprimento, em média, e atinge maturação sexual quando a concha atinge 6 cm. Os espécimes adultos de *H. catharinae* observados na assembleia fossilífera de Taió mostram comprimento máximo de 8 cm (tamanho grande) e mínimo de 1 cm (tamanho médio). Assumindo hipoteticamente que os tamanhos máximos das formas adultas de *H. catharinae* na assembleia fossilífera de Taió correspondessem aos estágios ontogenéticos mais velhos e que os tamanhos mínimos das formas adultas representassem os espécimes em estágio de maturação sexual, poderia se inferir que a dominância de tamanhos médios represente uma população jovem.

A dominância de tamanhos médios também poderia representar redução de tamanho corporal em função de dominância de águas frias, como previamente assumido para essa assembleia. Contudo, coincidentemente, o melhor análogo moderno de *H. catharinae*, *P. maximus*, também habita águas frias de mares de latitudes médias a altas, no Hemisfério Norte (Mason, 1957, 1983). Outra possibilidade seria a de indicar um hábitat preferencial mais profundo na plataforma, já que as populações de pectínídeos que habitam águas mais profundas tendem a ter tamanho ligeiramente menor que aquelas que se distribuem em zonas mais rasas (Mason, 1957).

A maior frequência de depósitos em forma de pavimentos com bioclastos inteiros (tipo II), associada às características mencionadas acima, sugere que o material se acumulou em zonas distais em relação à linha de costa (Simões *et al.*, 2000; Sterren, 2002). Pectínídeos mostram preferência por substratos arenosos, mas distribuem-se até as zonas mais distais da plataforma onde a areia ainda se faz presente, associada à lama,

mesmo que de forma discreta (Brand, 1991). Braquiópodes e equinodermos também são comuns nessas zonas mais distais (Spencer & Wright 1966; Rudwick, 1985; Clarkson, 1986). Nenhuma das concentrações fossilíferas registradas na assembleia fossilífera de Taió apresenta sinal de abrasão, sugerindo acumulação em zonas normalmente submetidas a condições de baixa energia hidrodinâmica (*e.g.*, Brett, 1990; Simões & Torello, 2003).

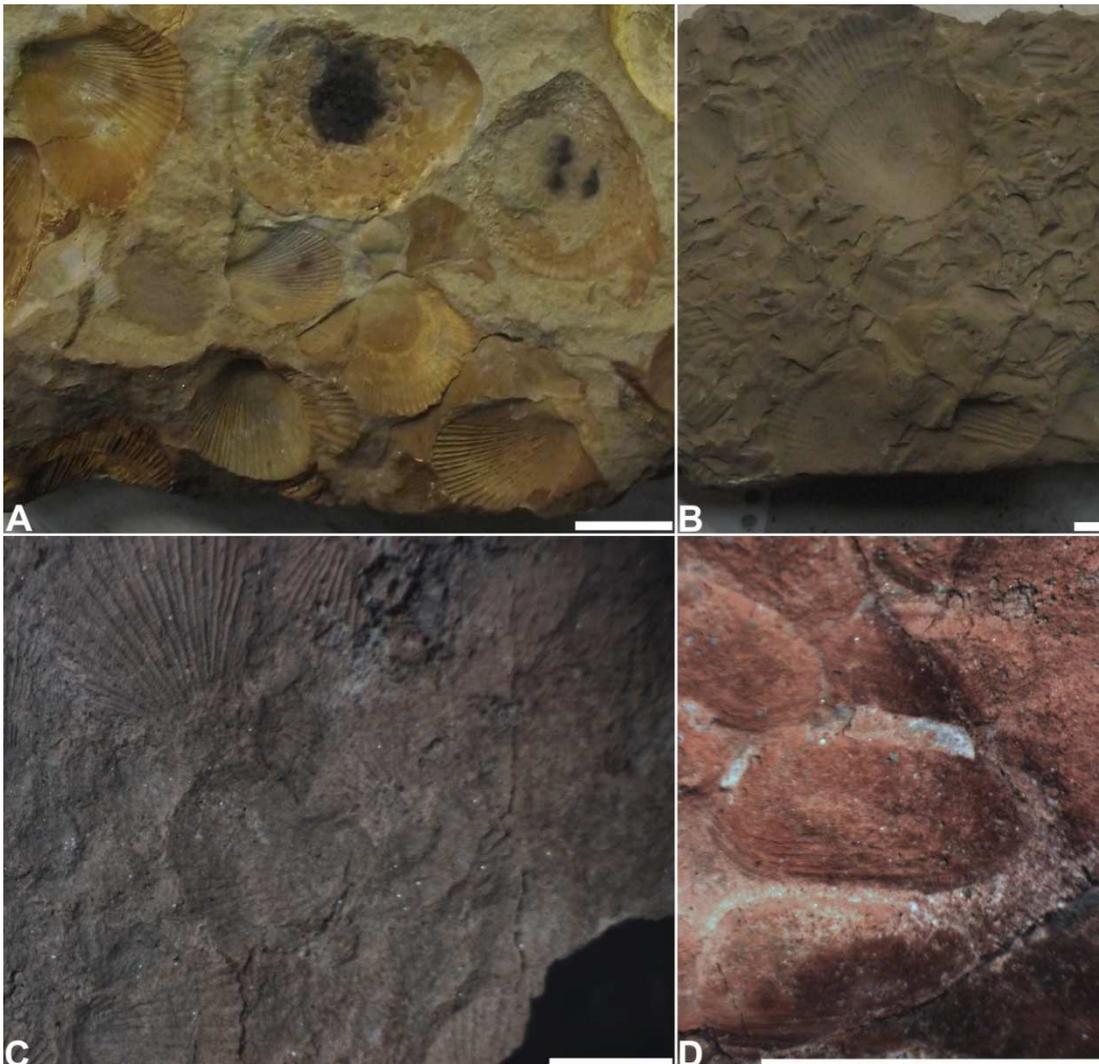


Figura 9. Pavimentos dos *shell beds* de Taió contendo bioclastos de *Heteropecten catharinae* (A-C) e *Myonia costata* (D). **A**, pavimento tipo I. **B**, pavimento tipo II. **C**, pavimento tipo IV. **D**, pavimento tipo III. Amostras PL 110 (A), PL 127 (B), UMVT 7858 (C), UMVT 7864 (D) (ver Anexo 1). Escalas: 10 mm.

A ausência de abrasão, a desarticulação, a dominância de bioclastos inteiros bioerodidos e preservados preferencialmente como concentrações matriz-suportadas

sugere acúmulo na zona de transição entre o *shoreface* e o *offshore* (Fürsich & Oschmann, 1993). A presença de estratificação cruzada *hummocky* nos depósitos da fácies Shcs, que abriga os *shell beds* com bioclastos de tamanhos normais e o caráter amalgamado das camadas (Tognoli, 2006; Schmidt-Neto, 2013) são assinaturas de depósitos de tempestades, que normalmente se acumulam nessa zona. O baixo grau de fragmentação dos bioclastos sugere uma frequência deposicional maior, que pode provocar soterramentos sucessivos e em curtos espaços de tempo (Allen, 1990; Simões & Torello, 2003). A maior frequência deposicional também é sinalizada pelo padrão da bioerosão nas valvas de *H. catharinae*, cuja rápida colonização foi interpretada por Gibert *et al.* (2007) como estratégia para sobreviver em meios sujeitos a soterramentos frequentes, e pela icnofábrica de *Rosselia* isp. preservada abaixo e acima dos níveis fossilíferos, que em zonas sujeitas a eventos frequentes de tempestades ocorre de forma monoespecífica e com abundância de indivíduos (Nara, 1995, 2002; Nara & Haga, 2007).

O predomínio de formas anãs nos pavimentos do tipo III e IV, que ocorrem nas camadas heterolíticas síltico-argilosas da fácies Hw presentes na base da sucessão sedimentar, destoa do cenário acima discutido e permite aventar duas hipóteses distintas para explicar esse fenômeno: (i) trata-se de uma estratégia adotada em resposta a um estresse ambiental, ou (ii) representa acúmulo em um ambiente propício ao desenvolvimento dos estágios larvais e pós-larvais da comunidade de moluscos. As valvas preservadas nesses pavimentos mostram características anatômicas próprias do estágio ontogenético adulto, não representando, portanto, uma população juvenil. Por outro lado, uma das respostas adaptativas comumente mostradas pela comunidade de invertebrados marinhos frente ao estresse ambiental é a redução do tamanho corporal (Wightman *et al.*, 1987; Buatois *et al.*, 2005; Schöne, 1999; McRoberts *et al.*, 2008; Urlichs, 2011). A presença de fitodetritos na matriz sedimentar que suporta os bioclastos e de uma assinatura palinofaciológica sugestiva de ambientes mais proximais, em relação à costa (Staudt, 2013), sugere que o acúmulo dessas valvas se deu em um contexto marginal-marinho, onde condições estressantes são comuns, seja pela frequente flutuação de salinidade, seja pelo aporte mais significativo de matéria orgânica vegetal, que reduz as taxas de oxigenação. A ausência de icnogêneros de natureza marinha restrita nesses depósitos também aponta para um ambiente mais proximal ao continente e com condições ambientais estressantes causadas por uma provável variação da

salinidade. Nesta fácies o registro icnofóssil é representado por uma icnofauna pobre de *Planolites isp.*, icnogênero de natureza oportunista.

A sucessão sedimentar estudada é parte de um trato de sistemas transgressivo vinculado a uma transgressão marinha pós-glacial que se expressa em toda a bacia (Tognoli, 2006). O impacto causado pelo significativo aporte das águas de degelo nas zonas marinhas rasas da bacia foi extremo, levando à dulcificação das águas nessas zonas, durante a deglaciação do Gondwana (Buatois *et al.*, 2006; Netto *et al.*, 2009, 2012). Depósitos locais de ritmitos de aspecto várvido na base da Formação Rio Bonito em Santa Catarina sugerem que eventos de deglaciação ainda aconteceram na base do ciclo transgressivo pós-glacial, mesmo que em menor escala. É plausível assumir, pois, que esses eventos de degelo impactassem as áreas marginais marinhas e marinhas rasas da bacia, diminuindo a salinidade e a temperatura das águas. Isso poderia gerar condições estressantes nas zonas mais costeiras do “mar Paraguaçu”, provocando o nanismo dos moluscos registrados nos pavimentos dos tipos III e IV.

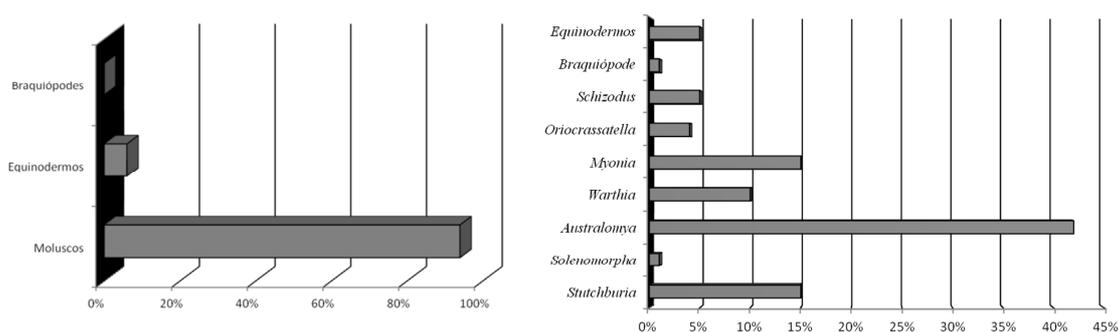


Figura 10. Frequência da ocorrência dos invertebrados que compõem os *shell beds* de Taió, exceto *Heteropecten catharinae*, que corresponde a 90% dos bioclastos e cuja presença mascara os valores mais inferiores do gráfico. **A**, frequência geral dos invertebrados nos *shell beds* de Taió. **B**, frequência dos invertebrados nos *shell beds* de Taió por gênero.

A julgar pelo tamanho dos asteroides e ofiuroides preservados na assembleia fossilífera de Taió, o impacto pontual das águas de degelo também pode ter alcançado a zona mais distal da plataforma continental do “mar Paraguaçu”, já que: (i) o nanismo (assim como o gigantismo) é uma estratégia adotada por esses organismos em mares antárticos modernos (Martín-Ledo, 2010); e (ii) ofiuroides de dimensões diminutas foram descritos recentemente por Stöhr *et al.* (2012) em zonas profundas do Oceano Índico, onde predominam condições de águas frias.

CONCLUSÕES

A assembleia fossilífera de Taió representa *shell beds* de organismos marinhos de hábito plataformais gerados por processos de moderada a alta energia e alta frequência deposicional e acumulados, preferencialmente, abaixo do nível de ação das ondas normais. As assinaturas tafonômicas revelam que os bioclastos ficaram pouco tempo dispostos na superfície do substrato, sendo rapidamente soterrados na zona de transição entre o *shoreface* e o *offshore* por eventos de tempestades.

As concentrações fossilíferas compostas por formas anãs representam acúmulos em zonas marginais marinhas impactadas pelo aporte pontual de águas oriundas da deglaciação tardia do Gondwana, que reduziria a salinidade das zonas mais proximais e a temperatura das águas do “mar Paraguaçu”, como um todo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio à pesquisa que subsidiou esse trabalho (processo nº 401826/2010-4). RGN agradece também pela bolsa de produtividade em pesquisa (processo nº 305208/2010-1) e HSN agradece à CAPES pela bolsa PROSUP/CAPES que subsidiou seus estudos de pós-graduação. Agradecemos também ao NEAP – Núcleo de Estudos Aplicados do PPGE UNISINOS, que cedeu os veículos para realização dos trabalhos de campo, às instituições citadas no texto pelo acesso irrestrito ao acervo fossilífero estudado, e à Prefeitura Municipal de Taió, pelo apoio de longa data às pesquisas realizadas na região pelo PPGE UNISINOS. A Elvio P. Bosetti, Ernesto L.C. Lavina e Tânia L. Dutra, pelas discussões e críticas ao manuscrito original. A Alex B. Duarte e Samuel H. Noll, pelo apoio técnico nas atividades de campo e no tratamento das amostras de coleção.

REFERÊNCIAS

- Allen, J.R.L. 1997. *Transport – hydrodynamics: shells*. In: D.E.G. Briggs & Peter C. (eds.) *Palaeobiology a synthesis*, Blackwell Science Ltd, p. 227-229.
- Barnes, R.D. 1984. *Zoologia de invertebrados*. 4ª ed., São Paulo, Livraria Roca Ltda., 1179 p.

- Begg, J.G.; Ballard, H.R. 1991. An Early Permian fauna from the Mantle Volcanics Formation, Skippers Range, northwest Otago. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, **34**:145-15. <http://dx.doi.org/10.1080/00288306.1991.9514452>
- Best, M.M.R.; Kidwell, S.M. 2000. Bivalve taphonomy in tropical mixed siliciclastic-carbonate settings. I. Environmental variation in shell condition. *Paleobiology*, **26**(1):80-102. [http://dx.doi.org/10.1666/0094-8373\(2000\)026<0080:BTITMS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1666/0094-8373(2000)026<0080:BTITMS>2.0.CO;2)
- Beurlen, K. 1954. *As faunas de lamelibrânquios do Sistema Gondwânico no Paraná*. In: F.W. Lange (ed.) *Paleontologia do Paraná*. Comissão de Comemoração do Centenário do Paraná, p. 107-136.
- Brand, A.R. 1991. *Scallop ecology: distributions and behaviour*. In: S.E. Shumway (ed.) *Scallops: biology, ecology and aquaculture*. Elsevier, Developments in Aquaculture and Fisheries Science 21, p. 517-584.
- Brett, C.E. 1990. *Destructive taphonomic processes and skeletal durability*. In: D.E.G. Briggs & C. Peter (eds.) *Palaeobiology a synthesis*, Blackwell Science Ltd, p. 223-226.
- Buatois, L.A.; Gingras, M.K.; MacEachern, J.A.; Mángano, M.G.; Zonneveld, J.P.; Pemberton, S.G.; Netto, R.G. & Martin, A. 2005. Colonization of brackish-water systems through time: evidence from the trace-fossil record. *Palaios*, **20**:321-347. <http://dx.doi.org/10.2110/palo.2004.p04-32>
- Buatois, L.A.; Netto, R.G.; Mángano, M.G.; Balistieri, P. 2006. Extreme freshwater release during the late Paleozoic Gondwana deglaciation and its impact on coastal ecosystems. *Geology*, **34**:1021-1024. <http://dx.doi.org/10.1130/G22994A.1>
- Cadée, G.C. 2002. Floating articulated bivalves, Texel, North Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **183**:355-359. [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00487-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00487-4)
- Castro, J.C. 1987. Marcos de arenitos marinho raso e litorâneo na Formação Rio Bonito, flanco sudeste da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10, Rio de Janeiro, *Anais*, SBP, p. 1001-1011.
- Cherns, L.; Wheelley, J.R.; Wright, V.P. 2008. Taphonomic windows and molluscan preservation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **270**:220-229. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.07.012>
- Clarkson, E.N.K. 1986. *Invertebrate palaeontology and evolution*. 2^a ed., London, Harper Collins Academic, 382 p.

- David, J.M.; Simões, M.G.; Anelli, L.E.; Rohn, R.; Holzfoerster, F. 2012. Permian bivalve molluscs from the Gai-As Formation, northern Namibia: systematics, taphonomy and biostratigraphy. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, **35**(4):497-516. <http://dx.doi.org/10.1080/03115518.2011.538908>.
- Dickins, J.M. 1961. *Eurydesma* and *Peruvispira* from the Dwyka beds of South Africa. *Paleontology*, **4**(1):138-148.
- Evans, J.W. 1969. Borers in the shell of the sea scallop, *Placopecten magellanicus*. *American Zoology*, **9**:775-782.
- Fürsich, F.T.; Oschmann, W. 1993. Shell beds as tools in basin analysis: the Jurassic of Kachchh, western India. *Journal of the Geological Society*, **150**:169-185. <http://dx.doi.org/10.1144/gsjgs.150.1.0169>
- Gibert, J.M.; Domènech, R. & Martinell, J. 2007. Bioerosion in shell beds from the Pliocene Roussillon Basin, France: implications for the (macro) bioerosion ichnofacies model. *Acta Palaeontologica Polonica*, **52**(4):783-798.
- González, C.R. 2006. Lower Permian bivalves from central Patagonia, Argentina. *Palaeontologische Zeitschrift*, **80**(2):130-155.
- Goreau, T.F. & Hartman, W.D. 1963. *Boring sponges as controlling factors in the formation and maintenance of coral reefs*. In: R.F. Sognaes (ed.) *Mechanisms of hard tissue destruction*. American Association for the Advancement of Science Publication Number 75, p. 25-54.
- Houser, I.; Oschmann, W. & Gischler, E. 2008. Taphonomic signatures on modern Caribbean bivalve shells as indicators of environmental conditions (Belize, Central America). *Palaios*, **23**:586-600. <http://dx.doi.org/10.2110/palo.2007.p07-075r>.
- Johnson, R.G. 1960. Models and methods for analysis of the mode of formation of fossil assemblages. *Bulletin of the Geological Society of America*, **71**:1076-1086. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1960\)71\[1075:MAMFAO\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1960)71[1075:MAMFAO]2.0.CO;2)
- Kegel, W. & Costa, M.T.C. 1951. Espécies neopaleozóicas do Brasil, da família Aviculopectinidae, ornamentadas com costelas fasciculadas. Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, *Boletim DGM*, **137**:7-43.
- Kidwell, S.M. 1993. Influence of subsidence on the anatomy of marine siliciclastic sequences and on the distribution of shell and bone beds. *Journal of the Geological Society*, **150**:165-167. <http://dx.doi.org/10.1144/gsjgs.150.1.0165>

- Kidwell, S.M. & Boscense, D.W.J. 1991. *Taphonomy and time-averaging of marine shelly faunas*. In: P.A. Allison & D.E.G. Briggs (eds) *Taphonomy, releasing the data locked in the fossil record*. Plenum Press, p. 115-209.
- Kidwell, S.M.; Fürsich, F.T. & Aigner, T. 1986. Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations. *Palaios*, **1**:228-238. <http://dx.doi.org/10.2307/3514687>
- Kowalewski, M. 1996: Time-averaging, overcompleteness, and the geological record. *Journal of Geology*, **104**:317-326. <http://dx.doi.org/10.1086/629827>
- Kroh, A.; Nebelsick, J.H. 2010. *Echinoderms and Oligo-Miocene carbonate systems: potential applications in sedimentology and environmental reconstruction*. International Association of Sedimentology Special Publication 42, p. 201-228.
- Martín-Ledo, R. 2010. Gigantism and dwarfism. Disponível em <http://brittlestars.wordpress.com/2010/11/21/gigantism-and-dwarfism/>, acesso em 04/06/2013.
- Mason, J. 1957. The age and growth of the scallop, *Pecten maximus* (L.), in Manx waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **36**:473-492. <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315400025777>
- Mason, J. 1983. *Scallop and queen fisheries the British Isles*. Farnham, Fishing News Books Ltd., 144 p.
- McRoberts, C.A.; Krystyn, L. & Shea, A. 2008. Rhaetian (Late Triassic) monotis (Bivalvia: Pectinoidea) from the eastern northern calcareous Alps (Austria) and the end-Norian crisis in pelagic faunas. *Palaeontology*, **51**(3):721-735. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1475-4983.2008.00776.x>
- Milani, E.J.; Melo, J.H.G. de; Souza, P.A. de; Fernades, L.A. & França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15**:265-287.
- Nara, M. 1995. *Rosselia socialis* Dahmer 1937: a dwelling structure of a probable terebellid polychaete, *Lethaia*, **28**:171-178. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1502-3931.1995.tb01610.x>
- Nara, M. 2002. Crowded *Rosselia socialis* in Pleistocene inner shelf deposits: benthic paleoecology during rapid sea-level rise. *Palaios*, **17**:268-276. [http://dx.doi.org/10.1669/0883-1351\(2002\)017<0268:CRSIPI>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1669/0883-1351(2002)017<0268:CRSIPI>2.0.CO;2)
- Nara, M.; Haga, M. 2007. The youngest record of trace fossil *Rosselia socialis*: occurrence in the Holocene shallow marine deposits of Japan. *Paleontological*

- Research*, **11**:21-27. [http://dx.doi.org/10.2517/1342-8144\(2007\)11\[21:TYROTF\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.2517/1342-8144(2007)11[21:TYROTF]2.0.CO;2)
- Netto, R.G.; Balistieri, P.R.M.N.; Lavina, E.L. & Silveira, D.M. 2009. Ichnological signatures of shallow freshwater lakes in the glacial Itararé Group (Mafra Formation, Upper Carboniferous-Lower Permian of Parana Basin, S Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **272**:240-255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.10.028>
- Netto, R.G.; Benner, J.S.; Buatois, L.A.; Uchman, A.; Mángano, M.G.; Ridge, J.C.; Kazakauskas, V. & Gaigalas, A. 2012. *Glacial environments*. In: D. Knaust & R.G. Bromley (eds.) *Trace fossils as indicators of sedimentary environments*. Elsevier, Developments in Sedimentology 64, p. 297-336. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-53813-0.00011-3>
- Reineck, H.E; Gutmann, W.F.; Hertweck, G. 1967. Das schlickgebeit südlich Helgoland als beispiel rezenter schelfablagerungen: *Senckenbergiana Lethaea*, **48**:219-275.
- Rocha-Campos, A.C. 1964. *Contribuição à estratigrafia da região de Taió, S.C.* Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 55 p.
- Rocha-Campos, A.C. 1966. Implicação em sistemática do tipo da fossilização dos lamelibrânquios fósseis de Taió, Santa Catarina. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **15**(2): 55-60.
- Rocha-Campos, A.C. 1967. The Tubarão Group in the Brazilian portion of the Paraná Basin. In: J.J. Bigarella; R.D.Becker & I.D. Pinto (eds.) *Problems in Brazilian Gondwana Geology*, Curitiba, Sociedade Brasileira de Geologia, p. 27-102.
- Rocha-Campos, A.C. 1970. Moluscos permianos da Formação Rio Bonito (Subgrupo Guatá), SC. Departamento Nacional da Produção Mineral, *Boletim D.G.M.*, **251**:7-75.
- Rocha-Campos, A.C.; Rösler, O. 1978. Late Paleozoic faunal and floral successions in the Paraná Basin, southeastern Brazil. *Boletim IG/USP*, **9**:1-16.
- Rocha-Campos, A.C.; Simões, M.G. 1993. *Australomya sinuosa* sp.n., um novo megadesmídeo (Mollusca, Pelecypoda) da Formação Rio Bonito (Permiano), Bacia do Paraná, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **65**(1):29-39.
- Rudwick, M.J.S. 1985. Ecology and paleoecology. In: R.C. Moore (ed.) *Treatise on invertebrate paleontology. Part H. Brachiopoda*. The University of Kansas Press and The Geological Society of America Press, 521 p.

- Runnegar, B. 1979. Ecology of *Eurydesma* and the *Eurydesma* fauna, Permian of eastern Australia. *Alcheringa* **3**:261-285. <http://dx.doi.org/10.1080/03115517908527798>
- Runnegar, B.; Newell, N.D. 1974. *Edmondia* and the Edmondiacea shallow-burrowing Paleozoic pelecypods. *American Museum Novitates*, **2533**:1-20.
- Schäfer, W. 1972. Ecology and paleoecology of marine environments. Chicago, University of Chicago Press. 450 p.
- Schmidt-Neto, H. 2013. *Análise tafonômica, paleoecologia e contextualização ambiental da assembleia fossilífera de Taió (Santa Catarina, Brasil)*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Dissertação de Mestrado, 110 p.
- Schöne, B.R. 1999. Scleroecology: implications for ecotypical dwarfism in oxygen-restricted environments (Middle Devonian, Rheinisches Schiefergebirge). *Senckenbergiana lethaea*, **79**(1):35-41. <http://dx.doi.org/10.1007/BF03043212>
- Simões, M.G. & Torello, F.F. 2003. Modelo de tafofácies para os moluscos bivalves do Grupo Passa Dois (formações Serra Alta, Teresina e Corumbataí), Permiano superior, Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **33**(4):371-380.
- Simões, M.G.; Ghilardi, R.P. 2000. Protocolo tafonômico/paleoautoecológico como ferramenta na análise paleossinecológica: exemplos de aplicação em concentrações fossilíferas do Paleozóico da Bacia do Paraná, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, **27**:3-13.
- Simões, M.G.; Kowalewski, M. 1998. Shell beds as paleoecological puzzles: a case study from the Upper Permian of the Parana Basin, Brazil. *Facies*, **38**:175-196. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02537364>
- Simões, M.G.; Rocha-Campos, A.C.; Anelli, L.E. 1998. Paleoecology and Evolution of Permian Bivalve Faunas (Paraná Basin) in Brazil. In: P.A. Johnston & J.W. Haggart (eds.) *Bivalves - An Eon of Evolution - Paleobiological Studies Honoring Norman D. Newell*. Canada: Calgary University Press, 1998. p. 443-452.
- Simões, M.G.; Kowalewski, M.; Torello, F.F., Ghilardi, R.P.; Mello, L.H.C. 2000. Early onset of modern-style shell beds in the Permian sequences of the Paraná Basin: implications for the Phanerozoic trend in bioclastic accumulations. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(3):499-503.

- Spencer, W.K.; Wright, C.W. 1966. *Asterozoans U4*. In: R.C. Moore (ed.) *Treatise on Invertebrate Paleontology. Parte U. Echinodermata 3, Asterozoa – Echinozoa*. The University of Kansas Press and The Geological Society of America Press, 366 p.
- Staudt, B. 2013. *Palinofácies do Membro Paraguaçu (Formação Rio Bonito) no município de Taió, SC*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 55 p.
- Sterren, A.F. 2008. Concentraciones bioclásticas del Carbonífero – Pérmico Inferior en la Precordillera argentina. Variaciones temporales y relación con las tendencias propuestas para el Fanerozoico. *Ameghiniana*, **45**(2):303-320.
- Sterren, A.F.; Cisterna, G.B. 2010. Bivalves and brachiopods in the Carboniferous - Early Permian of Argentine Precordillera: diversification and faunal turnover in Southwestern Gondwana. *Geologica Acta*, **8**(4):501-517. <http://dx.doi.org/10.1344/105.000001585>.
- Stöhr, S; Sautya, S.; Ingole, B. 2012. Brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) from seamounts in the Andaman Sea (Indian Ocean): first account, with descriptions of new species. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **92**(5):1195-1208. <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315412000240>
- Tognoli, F.M.W. 2006. *Estratigrafia das seqüências deposicionais do Grupo Guatá, borda leste da Bacia do Paraná*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 112 p.
- Urlichs, M. 2011. Stunting in some invertebrates from the Cassian Formation (Late Triassic, Carnian) of the Dolomites (Italy). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, **265**(1):1-25. <http://dx.doi.org/10.1127/0077-7749/2012/0241>.
- Wightman, D.M.; Pemberton, S.G. & Andsingh, C. 1987. Depositional modeling of the Upper Mannville (Lower Cretaceous), central Alberta: implications for the recognition of brackish water deposits: In: R.W. Tillman & K.J. Weber (eds.) *Reservoir sedimentology*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 40, p. 189-220.

Anexo 1. Amostras de coleções utilizadas para a análise tafonômica, com destaque para os táxons nelas contidos e o tipo de concentração fossilífera que representa.

COLEÇÃO	AMOSTRA	TÁXON										TIPO DE CONCENTRAÇÃO FOSSILÍFERA			
		e	n	m	y	f	b	o	c	i	r	o	r	Biofábrica	Pavimento

9. ANÁLISE PALEOECOLÓGICA DA ASSEMBLEIA FOSSILÍFERA DE TAIÓ (BACIA DO PARANÁ, S BRASIL)

9.1 INTRODUÇÃO

O intervalo permocarbonífero registrou um dos mais significativos eventos glaciais do Paleozoico (Eyles et al., 1993; Limarino et al., 2002), causando um grande impacto na fauna do Gondwana (e.g. Dickins, 1961; Runnegar, 1979; Stanley & Powell, 2003; Buatois et al., 2006). Toda latitude sul do planeta foi afetada por essas mudanças, deixando registro nos depósitos sedimentares da América do Sul, África, Austrália e Antártica (e.g. Buatois et al., 2006, 2010; Dickins, 1961; Eyles & Eyles, 2000; Isbel et al., 2003; Lopez-Gamundí, 1986; Lopez-Gamundí & Buatois, 2010; Netto et al., 2009).

Os depósitos marinhos transgressivos que sucedem os eventos de deglaciação estabelecidos ao final desse ciclo na bacia do Paraná afloram no centro-oeste do Estado de Santa Catarina (sul do Brasil) e contêm uma assembleia fóssil dominada por moluscos bivalves (Reed, 1930; Rocha-Campos, 1967, 1970; Rocha-Campos & Rösler, 1978; Rocha-Campos & Simões, 1993). Estudos anteriores (e.g. Reed, 1930; Rocha-Campos & Simões, 1993) têm sugerido que a composição taxonômica desta fauna fóssil apresenta equivalência com a “Fauna de Eurydesma” (Runnegar, 1979), uma assembleia marinha pós-glacial estabelecida no Gondwana australiano durante o Asseliano-Sakamariano (Dickins, 1961). A assembleia fóssil de Taió apresenta uma grande quantidade de exemplares de pectínideos (*Heteropecten catharinae*), enquanto outros grupos de invertebrados ocorrem de modo subordinado. Essa característica

composicional também foi observada por Beurlen (1954) em outros depósitos permocarboníferos da bacia do Paraná.

Apesar da grande contribuição em relação à caracterização da assembleia fossilífera de Taió, pouco se sabe acerca do quanto e por quanto tempo os eventos de deglaciação impactaram as faunas desse período (e.g. Buatois et al., 2006). Assim, visando contribuir para um maior entendimento desses processos, o presente trabalho tem dois objetivos: (i) avaliar as relações paleossinecológicas evidenciadas pela assembleia fossilífera de Taió; e (ii) contextualizá-la no âmbito dos depósitos marinhos transgressivos que sucedem os depósitos glaciais.

9.2 ASSEMBLEIA FOSSILÍFERA DE TAIÓ

A assembleia fossilífera de Taió é composta por exoesqueletos fósseis de macroinvertebrados marinhos representados por moluscos bivalves epifaunais (*Heteropecten catharinae*) e infaunais (*Astralomya sinuosa*, *Myonia costata*, *Schizodus occidentalis*, *Stutchiburia brasiliensis*, *Edimondia* sp. e *Oriocrassatella itajaiensis*), gastrópodes epifaunais (*Warthia* sp.), braquiópodes discinídeos epifaunais pedunculados (*Orbiculoidea itajaiensis*) e equinodermos somasteroides (Asterozoa e Ophiurozoa) (Figura 4). *Heteropecten catharinae* é o principal componente dessa assembleia, representando cerca de 90% dos fósseis corpóreos. Espécimes de *Orbiculoidea itajaiensis* e de equinodermos são raros, os últimos ocorrendo em maior proporção que os primeiros (Figura 6). Essa assembleia é complementada pela ocorrência de estruturas de bioturbação nos Arenitos Taió, atribuídas à atividade de poliquetos (*Cylindrichnus* isp., *Rosselia* isp., *Skolithos* isp.), artrópodes anfípodes (*Diplocraterion* isp.; *Palaeophycus* isp.) e organismos vermiformes de afinidade incerta (*Planolites* isp.), e de bioerosão nas valvas de *H. catharinae*, por espongiários clionídeos (*Clionolithes* isp. e *Entobia* isp.) e moluscos cefalópodes octópodes (*Oichnus ovalis*).

Os fósseis dessa assembleia ocorrem preservados como moldes, contra moldes internos e externos e moldes internos compostos, formando depósitos de *shell beds*. Ocorrem normalmente como pavimentos finos, com os bioclastos preservados inteiros e desarticulados, em sua maioria, e dispostos com as convexidades tanto para cima quanto para baixo. Em alguns casos, os bioclastos estão preservados de forma discordante ao

plano da camada, aninhados e imbricados (Schmidt-Neto et al., em preparação – ver capítulo 8). As concentrações fossilíferas normalmente são encontradas nas fácies Shcs, onde ocorrem valvas de moluscos de diversos tamanhos, variando de espécimes pequenos (≥ 5 mm até ≤ 10 mm) até espécimes muito grandes (≥ 40 mm até 90 mm). Valvas de tamanho médio são predominantes na assembleia fossilífera de Taió. Os equinodermos e braquiópodes ocorrem junto a estas concentrações de moluscos, no entanto sempre com tamanhos pequenos. Uma fauna mais restrita, composta por espécimes de moluscos nanicos, ocorre na fácies Hw na base da sucessão. Apesar do tamanho diminuto, as mesmas assinaturas tafonômicas das concentrações da fácies Shcs são aqui observadas.

9.3 ANÁLISE PALEOECOLÓGICA E PALEOAMBIENTAL

A assembleia fossilífera de Taió corresponde a uma orictocenose composta por uma comunidade de invertebrados que apresenta esqueleto mono ou multielementar. Os depósitos fossilíferos ocorrem na forma de pavimentos e biofábricas, com proporções variadas de sedimento/bioclasto (Schmidt-Neto et al., em subm.), caracterizando *shell beds*. *Shell beds* normalmente caracterizam misturas temporais, que podem ser significativas, quando o tempo nelas envolvido excede o tempo dos processos que a condicionam, ou não-significativa, quando representam acumulações geradas em curto tempo (Kowalewski, 1996). Na assembleia fossilífera de Taió, as assinaturas tafonômicas mostram que a tanatocenose sofreu curto transporte e rápido soterramento (Schmidt-Neto, em subm.), caracterizando uma mistura temporal não-significativa que permite inferir, com maior acurácia, as características paleoecológicas dos depósitos em questão (Kowaleski, 1996).

A assembleia fossilífera de Taió é composta por organismos de hábito marinho, que normalmente habitam bentos plataformais e, ocasionalmente, marginais marinhos (e.g. Beurlen, 1954; Dickins, 1961; Rocha-Campos, 1970; Rocha-Campos & Rösler, 1978; Runnegar, 1979). A icnofauna endobentônica associada às concentrações fossilíferas de tamanho normal é composta por escavações de moradia e alimentação de organismos suspensívoros e filtradores, caracterizando uma suíte de ambientes mais arenosos, onde maior energia hidrodinâmica mantém as partículas mais finas em suspensão na lâmina de água. Moluscos da infauna tendem a apresentar uma preferência por substratos arenosos, que em geral se acumulam em zonas mais energéticas e, por

serem menos fluidos, favorecem a uma melhor ancoragem dentro do substrato. A preferência por substratos arenosos também é observada em pectinídeos modernos (Brand, 1991), que tendem a ser mais abundantes em áreas diretamente impactadas pela ação de ondas ou correntes, ou próximas a elas (Mason, 1983). Braquiópodes inarticulados podem habitar diferentes tipos de substratos, mas grupos pedunculados como os discinídeos habitam preferencialmente fundos que dispõem materiais que favoreçam a sua fixação, tais como seixos, conchas e corais (Rudwick, 1985; Clarkson, 1986). Equinodermos somasteroides habitavam regiões mais profundas das bacias marinhas no Paleozoico, vivendo abaixo do nível das ondas de tempo bom, em fundos lodosos ou arenosos (Spencer & Wright 1966). As características dos habitats inferidos para os componentes dos *shell beds* de Taió e sua preservação nos depósitos arenosos da fácies Shcs sugere que a biocenose original tenha se estabelecido em zonas mais distais da plataforma, preferencialmente no *shoreface* inferior.

A biodiversidade expressa na assembleia permite inferir a existência de diferentes hábitos tróficos na biocenose original. Com exceção de *Planolites* isp., que ocorre exclusivamente nos depósitos basais de fácies Hw, a infauna está representada por organismos de hábito trófico filtrador/suspensívoro e hábito escavador raso. A epifauna possui hábito trófico mais diversificado, com ocorrência de organismos filtradores/suspensívoros (*H. catharinae*, *Orbiculoidea itajaiensis*, *Clionolithes* isp. e *Entobia* isp.), detritívoros (*Warthia* sp., asteroides, ofiuroides) e predadores (octópodes, asteroides, ofiuroides). Apesar dos somasteroides primitivos serem considerados animais filtradores, não se descarta que alguns grupos possam ter tido um hábito trófico detritívoro ou carnívoro no Paleozoico (Spencer & Wright, 1966). Entre as formas modernas, alguns grupos apresentam uma natureza carnívora, com preferência por moluscos pectinídeos (Barnes, 1984). Assim, é possível conjecturar que os espécimes de Asteroidea ocorrentes na assembleia fóssil de Taió tenham sido predadores e que se beneficiassem da abundância de pectinídeos na biocenose original. O predomínio de organismos com hábito trófico filtrador/suspensívoro e a maior diversidade dos componentes da infauna indicam que a biocenose ocupava um ambiente de energia hidrodinâmica moderada a alta, mantendo as partículas orgânicas por mais tempo em suspensão.

As morfologias apresentadas pelos moluscos infaunais mostram adaptações que permitiriam um ato de escavação mais rápido ou uma capacidade de fixação/ancoragem maior, de acordo com Stanley (1979). Segundo Rocha-Campos e Simões (1993), a

porção posterior inflada e larga da concha de *A. sinuosa* teria o propósito de recolher um pé avantajado e apto à escavação rápida, possivelmente como resposta adaptativa à frequente exumação causada pela ação das ondas. Este comportamento é típico das faunas que habitam zonas de maior energia, onde ocorrem sucessivas remobilizações do sedimento de fundo, e por consequência, estão sujeitas a uma maior frequência deposicional. As assinaturas tafonômicas dos *shell beds* corroboram a ideia de depósitos de moderada a alta energia e com alta frequência deposicional (Schmidt-Neto et al., em subm.). O padrão da icnofábrica de *Rosselia* isp. presente nos arenitos da fácies Shcs (que contém os *shell beds*) também corrobora essa hipótese, já que esse padrão reflete atividade de poliquetas terebelídeos em ambientes com alta frequência deposicional relacionados a eventos de tempestades em zona de *shoreface* (Nara, 1997; Nara e Haga, 2007). A ocorrência de equinodermos articulados nos *shell beds* indica um rápido soterramento, já que seus esqueletos são facilmente desarticulados após a morte do animal (Kroh e Nebelsick, 2010). Considerando a distribuição preferencial dos somasteroides paleozoicos abaixo do nível das ondas de tempo bom, pode-se inferir que os arenitos da fácies Shcs se acumularam na zona de transição entre o *shoreface* inferior e o *offshore*.

Apesar da ocorrência de três classes de tamanho nas concentrações fossilíferas da fácies Shcs, há um predomínio de espécimes de tamanho médio. *H. catharinae* é sinalizado como o pectinídeo de maior tamanho que habitou os mares gonduânicos durante o intervalo permocarbonífero (Kegel e Costa, 1951). Uma análise comparativa entre *H. catharinae* e *Pecten maximus*, a espécie moderna de pectinídeo de maior tamanho e, a exemplo do que se estima para *H. catharinae* (Beurlen, 1954; Dickins, 1961; Rocha-Campos, 1967; Runnegar, 1979; Begg e Ballard, 1991), habitante de águas frias (Mason, 1983), permitiu inferir que a orictocenose de Taió reflita uma assembleia autóctone (*sensu* assembleias modelo II de Johnson, 1960) composta, preferencialmente, por jovens adultos (Schmidt-Neto et al., em subm.). *H. catharinae*, *S. occidentalis*, *A. sinuosa* e *S. brasiliensis* são comumente registrados em depósitos dos períodos inter e pós-glaciais do limite permocarbonífero, cujo contexto ambiental e paleolatidade estimada sugerem condições de águas frias (e.g. Dickins, 1961; Rocha-Campos & Rösler, 1978; Runnegar, 1979).

A hipótese de um mar com temperaturas baixas é, em geral, inferida pela posição geográfica na qual se encontravam os depósitos epicontinentais da bacia do Paraná no intervalo permocarbonífero e pela comparação da assembleia fossilífera de

Taió com a Fauna de Eurydesma (e.g. Beurlen, 1954; Rocha-Campos, 1967, 1970). A Fauna de Eurydesma (Gondwana australiano, Asseliano/Sakmariano; Runnegar, 1979) tem sido usada como balizador cronoestratigráfico, paleobiogeográfico e paleoclimático dos depósitos gonduânicos do Paleozoico superior portadores de faunas similares (e.g. Dickins, 1961; Rocha-Campos e Carvalho, 1975; Rocha-Campos e Rösler, 1978; Dickins e Shah, 1987; Rocha-Campos & Simões, 1993; González, 2006). O caráter de fauna de mares rasos de águas frias e adaptada a condições hidrodinâmicas pelo menos moderadas interpretado para a Fauna de Eurydesma (e.g. Runnegar, 1979; Begg & Ballard, 1991) tem sido assumido como modelo para as faunas afins. Apesar de *Eurydesma* não estar presente na assembleia fossilífera de Taió, os componentes da infauna (*Australomya*, *Myonia*, *Stutchburia* e *Schizodus*) são comuns, além da presença de gastrópodes equinodermos e braquiópodes.

Segundo Buatois et al. (2006, 2008), o principal agente de impacto nos mares gonduânicos desse período foi o aporte de um grande volume de águas oriundas da deglaciação do Gondwana ao final do Pensilvaniano. Apesar do melhoramento climático estabelecido no oeste do Gondwana durante o Permocarbonífero, expresso pelo desenvolvimento vegetacional (e.g. Rocha-Campos e Rösler, 1978; Boardman, 2006; Iannuzzi et al., 2010), é possível que a temperatura das águas se mantivesse ainda baixa no tempo do mar Paraguaçu. A baixa diversidade expressa na assembleia de Taió, em especial nos componentes da epifauna, a ausência de elementos indicadores de águas cálidas (e.g. conchas bem ornamentadas, corais) e o tamanho diminuto dos equinodermos (Martín-Ledo, 2010) podem ser indícios do predomínio de águas frias. De fato, as zonas costeiras oceânicas da Antártica e da América do Sul caracterizam os ecossistemas com a menor diversidade de moluscos bivalves, atualmente (Linse et al., 2006).

Os depósitos basais da fácies Hw na sucessão estudada contêm uma concentração fossilífera particular, composta por gêneros de bivalves também observados nos *shell beds* das fácies Shcs (*Heteropecten*, *Schizodus*, *Myonia* e *Oriocrassatella*), mas com espécimes de tamanhos diminutos. Apesar do tamanho reduzido (Figura 9C-D, capítulo 8), as características das valvas indicam formas adultas (numerosas lamelas, concha bem formada, fossa bissal fechada), revelando nanismo nas populações ali representadas e sugerindo estresse ambiental. Nanismo em geral é uma resposta adaptativa às condições de estresse causado por flutuações de salinidade, redução nas taxas de O₂ ou águas muito frias (e.g., Schöne, 1999; McRoberts et al.,

2008; Urlichs, 2011). A julgar pelo tamanho dos equinodermos somasteroides preservados nos *shell beds* da fácies Shcs, a temperatura das águas poderia ser um fator condicionante desse nanismo. Contudo, os dados de palinofácies da fácies Hw revelam uma grande quantidade de fitoclastos e ausência de esporomorfos e MOA, indicando depósitos proximais e com baixa influência de salinidade. A bioturbação presente nesses depósitos (icnofábrica *Planolites-Palaeophycus* com índice de bioturbação baixo a moderado) também possui uma assinatura de baixa salinidade, sendo comum inclusive em ambientes não marinhos (Buatois et al., 2005), também sugere um contexto de ambiente, indicando um ambiente de águas com salinidade extremamente baixa (Buatois et al., 2005). O aporte da água de degelo ao final do ciclo glacial gonduânico promoveu também uma redução significativa da salinidade, evidenciada pela colonização extensiva dos substratos por bioturbadores de águas doces em depósitos associados aos fiordes (Buatois et al., 2006, 2008; Netto et al., 2009, 2012). Invertebrados marinhos que vivem em zonas costeiras tendem a suportar o estresse causado pela flutuação de salinidade adotando estratégias de aumentar o número de indivíduos nas populações, a partir do recrutamento juvenil. Como consequência, o tamanho corporal dos indivíduos diminui, formando populações nanicas (e.g. Wigthman et al., 1987; Forbes, 1991; Barreto et al., 2000; Buatois et al., 2005). Considerando todas as evidências, é mais plausível assumir que as valvas nanicas preservadas na fácies Hw sejam uma resposta ao estresse por flutuação de salinidade.

Os sinais de condições hipossalinas ou sujeitas a flutuações extremas ou constantes de salinidade nos depósitos basais da fácies Hw sugerem deposição em contexto marginal marinho e reforçam a hipótese de que esses depósitos são correlacionáveis aos depósitos de topo da AF 3 de Tognoli (2006). Nesse contexto, os arenitos finos da fácies Shcs representam depósitos de *shoreface* inferior que se estabelecem sobre depósitos costeiros, em um claro contexto transgressivo.

10. CONCLUSÕES

A presença exclusiva de fósseis marinhos, o predomínio de hábito trófico filtrador/suspensívoro, uma maior diversidade infaunal e a presença de icnofábrica densa de *Rosselia* com carácter monoespecífico nos arenitos da fácies Shcs indicam que essa assembleia vivia sob condições de energia moderada a alta, em bentos do *shoreface* inferior, e sujeita a períodos de alta frequência sedimentar causada pela ação de ondas de tempestades. O padrão de preservação dos fósseis revela que a tanatocenose representada por esta assembleia sofreu curto transporte e foi rapidamente soterrada na zona de transição entre o *shoreface* inferior e o *offshore*, caracterizando uma assembleia autóctone.

A semelhança composicional entre a assembleia fossilífera de Taió e a Fauna de Eurydesma e o tamanho reduzido dos equinodermos em relação aos demais invertebrados da assembleia sugerem predomínio de águas frias.

A ocorrência de valvas diminutas nas camadas basais da fácies Hw e o padrão de bioturbação e de palinofácies dessas camadas sugerem que os depósitos que antecedem os Arenitos Taió na região homônima se acumularam em zonas marginais sujeitas a flutuações extremas de salinidade.

Os resultados obtidos permitem aventar a hipótese de que águas doces, decorrentes do degelo do Gondwana, ainda eram aportadas na bacia durante o acúmulo dos depósitos pós-glaciais da Formação Rio Bonito. Esse aporte manteria as águas frias e causaria flutuações na salinidade dos meios marginais marinhos, impactando, mesmo que de forma discreta, na distribuição das biotas do mar Paraguaçu.

11. REFERÊNCIAS

- Allen, J.R.L. 1997. *Transport – hidrodynamics: shells*. In: D.E.G. Briggs & Peter C. (eds.) *Palaeobiology a synthesis*, Blackwell Science Ltd, p. 227-229.
- Barnes, R.D. 1984. *Zoologia de invertebrados*. 4ª ed., São Paulo, Livraria Roca Ltda., 1179 p.
- Barreto Cristine C., Junqueira Andrea O. R., Silva Sérgio Henrique G. da. 2000. The effect of low salinity on teredinids. *Braz. arch. biol. technol.* **43**(4). Accessed in 2013, June 07; Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/S151689132000000400008>.
- Begg, J.G.; Ballard, H.R. 1991. An Early Permian fauna from the Mantle Volcanics Formation, Skippers Range, northwest Otago. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, **34**: 145-15.
- Belaústegui, Z; Gibert, J.M de; Nebelsick, J.H; Domènech, R & Martinell, J. 2012. Clypeasteroid echinoid tests as benthic islands for gastrochaenid bivalve colonization: evidence from the middle miocene of tarragona, north-east Spain. *Palaeontology*, 1-14.
- Bengtson, S.; Zhao, Y. 1992. Predatorial borings in late Precambrian mineralized exoskeletons. *Science* **257**: 367-369.
- Best, M.M.R.; Kidwell, S.M. 2000. Bivalve taphonomy in tropical mixed siliciclastic-carbonate settings. I. Environmental variation in shell condition. *Paleobiology*, **26**(1):80-102. [http://dx.doi.org/10.1666/0094-8373\(2000\)026<0080:BTITMS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1666/0094-8373(2000)026<0080:BTITMS>2.0.CO;2)

- Beurlen, K. 1954. As faunas de Lamelibrânquios do Sistema Gondwânico no Paraná. In: *Paleontologia do Paraná*, Curitiba, pp. 107-136.
- Blissett, D.J.; Pickerill, R.K. 2007. Systematic ichnology of microborings from the Cenozoic White Limestone Group, Jamaica, West Indies. *Scripta Geologica*, **134**: 77-108.
- Brand, A.R. 1991. Scallop ecology: distributions and behaviour. In: S.E. Shumway (ed.), *Scallops: biology, ecology and aquaculture*. Elsevier, *Developments in Aquaculture and Fisheries Science* **21**: 517-584.
- Brett, C.E. 1990. *Destructive taphonomic processes and skeletal durability*. In: D.E.G. Briggs & C. Peter (eds.) *Palaeobiology a synthesis*, Blackwell Science Ltd, p. 223-226.
- Bromley, R.G. 1993. Predation habits of octopus past and present and a new ichnospecies, *Oichnus ovalis*. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, **40**: 167-173.
- Bromley, R.G. 1996. Trace Fossils. Biology, Taphonomy and Applications. 361 pp. Chapman & Hall, London.
- Bromley, R.G. 2004. A stratigraphy of marine bioerosion. In: D. McIlroy (ed.), *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*, 455–479. Special Publications 228, Geological Society, London.
- Bromley, R.G.; Asgaard, U., 1993. Two bioerosion ichnofacies produced by early and late burial associated with sea-level change. *Geologische Rundschau*, **82**: 276-280.
- Bromley, R.G.; D'Alessandro, A. 1983. The ichnogenus *Entobia* from the Miocene, Pliocene and Pleistocene of southern Italy. *Revista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, **90**(2):227-296.
- Buatois, L.A.; Gingras, M.K.; MacEachern, J.A.; Mángano, M.G.; Zonneveld, J.P.; Pemberton, S.G.; Netto, R.G.; Martin, A. 2005. Colonization of brackish-water systems through time: evidence from the trace-fossil record. *Palaios*, **20**: 321-347.
- Buatois, L.A.; Netto, R.G.; Mángano, M.G. 2010. Ichnology of late Paleozoic postglacial transgressive deposits in Gondwana: Reconstructing salinity conditions in coastal ecosystems affected by strong meltwater discharge. In López-Gamundí, O.R., and Buatois, L.A. (eds.), *Late Paleozoic Glacial Events and Post-glacial Transgressions in Gondwana*: Geological Society of America Special Paper, **468**: 149-173. doi: 10.1130/2010.2468(07).

- Buatois, L.A.; Netto, R.G.; Mángano, M.G.; Balistieri, P.R.M.N. 2006. Extreme freshwater release during the late Paleozoic Gondwana deglaciation and its impact on coastal ecosystems. *Geology* **34**(12): 1021-1024.
- Cadée, G.C. 2002. Floating articulated bivalves, Texel, North Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **183**: 355-359. [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00487-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00487-4)
- Castro, J.C. 1987. Marcos de arenitos marinho raso e litorâneo na Formação Rio Bonito, flanco sudeste da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10, Rio de Janeiro, Anais: 1001-1011.
- Cherns, L.; Wheeley, J.R.; Wright, V.P. 2008. Taphonomic windows and molluscan preservation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **270**:220-229. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.07.012>
- Clarke, J.M. 1921. Organic dependence and disease: their origin and significance. New York State Museum Bulletin 221– 222: 1-113.
- Clarkson, E.N.K. 1986. Invertebrat Palaeontology and evolution. 2nd Edição. Harper Collins Academic, London, UK, 382pp.
- Closs, D. 1969 - *Intercalation of goniatites in the Gondwanic glacial beds of Uruguai*. Gondwana stratigraphy (IUGS Symposium) **2**: 197-208, Buenos Aires.
- Corriero, G.; Nonnis Marzano, C. (2006). A new species of Cliona (Demospongiae, Hadromerida) from the Mediterranean Sea. *Italian Journal of Zoology* **73**(2): 191-194.
- David, J.M.; Simões, M.G.; Anelli, L.E.; Rohn, R.; Holzfoerster, F. 2012. Permian bivalve molluscs from the Gai-As Formation, northern Namibia: systematics, taphonomy and biostratigraphy. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, **35**(4): 497-516. <http://dx.doi.org/10.1080/03115518.2011.538908>.
- De Laubenfels, M. W. 1955. Porifera, p. E21–E112. In R. C. Moore (ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Pt. E. Geological Society of America and University of Kansas Press, Lawrence.
- Dickins, J.M. 1961. *Eurydesma* and *Peruvispira* from the Dwika beds of South Africa. *Paleontology*, **4**(1): 138-148.
- Dickins, J.M.; Shah, S.C. (1987) *The Relationship of the Indian and Western Australian Permian Marine Faunas*. In. Gondwana Six: Stratigraphy, Sedimentology, and Paleontology (ed. G. D. McKenzie), American Geophysical Union, Washington, D. C. doi: 10.1029/GM041p0015

- Domènech, R.; Martinell J.; de Porta J. 2008. Bioerosión por poliquetos espionidos (Polychaeta, Spionidae) en moluscos marinos del Cuaternario caribeño de Colombia. *Revista Académica Colombiana de Ciencias*, **32**(124): 411-419. ISSN 0370-3908.
- Donovan, S.K.; Jagt, J.W.M. 2005. An additional record of *Oichnus excavatus* Donovan & Jagt from the Maastrichtian (Upper Cretaceous) of southern Limburg, The Netherlands. *Scripta Geologica*, **129**: 147-150.
- Evans, J.W. 1969. Borers in the shell of the sea scallop, *Placopecten magellanicus*. *American Zoology*, **9**:775-782.
- Eyles, C.H.; Eyles, N. 2000. Subaqueous mass flow origin for Lower Permian diamictites and associated facies of the Grant Group, Barbwire Terrace, Canning Basin, Western Australia: *Sedimentology*, **47**: 343-356. doi: 10.1046/j.1365-3091.2000.00295.x.
- Eyles, C.H.; Eyles, N.; França, B. 1993. Glaciation and tectonics in an active intracratonic basin: the Late Paleozoic Itararé Group, Paraná Basin, Brazil. *Sedimentology*, **40**: 1-25.
- Farinati, E.; Zavala, C. 2002. Trace fossils on shelly substrate. An example from the Miocene of Patagonia, Argentina. *Acta Geologica Hispanica*, **37**(1): 29-36.
- Fenton, C.L., Fenton, M.A. 1932. Boring sponges in the Devonian of Iowa. *American Midland Naturalist* **13**: 42-54.
- Forbes, V.E. 1991. Response of *Hydrobia ventrosa* (Montagu) to Environmental Stress: Effects of Salinity Fluctuations and Cadmium Exposure on Growth. *Functional Ecology*, **5**(5): 642-648.
- França, A.B.; Potter, P.E. 1988. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatórios do Grupo Itararé (Permocarbonífero), bacia do Paraná (Parte I). *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, **2**: 147-191.
- Fürsich, F.T.; Oschmann, W. 1993. Shell beds as tools in basin analysis: the Jurassic Kachchh, western India. *J. Geol. Soc. London*, **150**: 169-185.
- Gibert, J.M.; Martinell, J.; Domènech, R. 1998. Entobia ichnofacies in fossil rocky shores, Lower Pliocene, Northwestern Mediterranean. *Palaios*, **13**(5): 476-487.
- Gibert, J.M.; Domènech, R.; Martinell, J. 2004. An ethological framework for animal bioerosion trace fossils upon mineral substrates with proposal of a new class, Fixichnia. *Lethaia*, **37**: 429-437.

- Gibert, J.M.; Domènech, R.; Martinell, J. 2007. Bioerosion in shell beds from the Pliocene Roussillon Basin, France: Implications for the (macro) bioerosion ichnofacies model. *Acta Palaeontologica Polonica* **52**(4): 783-798.
- González, C.R. 2003. Antecedentes de bivalvos endêmicos Del Pérmico de Gondwana. *Acta geológica lilloana* **19**(1-2): 81-93.
- González, C.R. 2006. Lower Permian bivalves from central Patagonia, Argentina. *Palaeontologische Zeitschrift*, **80**(2): 130-155.
- González, C.R.; Saravia, P.D. 2007. Faunas y paleoclimatología Del Paleozoico Superior de Argentina: revisión crítica. *Acta geológica lilloana* **20**(1): 41-72.
- Gordon JR., M. 1947. Classification of the Gondwanic rocks of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul. *Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia*, Notas Preliminares e Estudos, Rio de Janeiro, **38**: 1-20.
- Goreau, T. F.; Hartman, W.D. 1963. Boring sponges as controlling factors in the formation and maintenance of coral reefs, p. 25–54. In R. F. Sognaes (ed.), *Mechanisms of Hard Tissue Destruction*. American Association for the Advancement of Science Publication Number 75.
- Häntzschel, W. 1975. Miscellanea, Supplement 1: Trace Fossils and Problematica, p. 1–269. In C. Teichert (ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Geological Society of America and University of Kansas Press, Lawrence.
- Harper, E.M.; Wharton, D.S. 2000. Boring predation and Mesozoic articulate brachiopods. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **158**: 15-24.
- Harrington, HJ. 1955. The Permian Eurydesma fauna of Eastern Argentina. *J. Paleont.*, **35**: 199-210.
- Houser, I.; Oschmann, W.; Gischler, E. 2008. Taphonomic signatures on modern Caribbean bivalve shells as indicators of environmental conditions (Belize, Central America). *Palaios*, **23**:586-600. <http://dx.doi.org/10.2110/palo.2007.p07-075r>.
- Iannuzzi, R. 2013. The Carboniferous-Permian Floral Transition in the Paraná Basin. *Bulletin - New Mexico Museum of Natural History and Science*, **60**: 132-136.
- Johnson, R.G. 1960. Models and methods for analysis of the mode of formation of fossil assemblages. *Bulletin of the Geological Society of America*, **71**: 1076-1086.
- Kegel, W.; Costa, M.T. 1951. Espécies Neopaleozóicas do Brasil, da Família Aviculopectinidae, ornamentadas com costelas fasciculadas. *Boletim, Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral*, **137**: 137:743.

- Kidwell, S.M. 1993. Influence of subsidence on the anatomy of marine siliciclastic sequences and on the distribution of shell and bone beds. *Journal of the Geological Society*, **150**:165-167. <http://dx.doi.org/10.1144/gsjgs.150.1.0165>
- Kidwell, S.M.; Boscense, D.W.J. 1991. Taphonomy and time-averaging of marine shelly faunas. In Allison, P.A. & Briggs, D.E.G. (eds): *Taphonomy, Releasing the Data Locked in the Fossil Record*, 115-209 pp. Plenum Press, New York.
- Kidwell, S.M.; Fürsich, F.T.; Aigner, T. 1986. Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations. *Palaios*, **1**: 228-238.
- Klompmaker, A.A. 2012. Drill hole predation on fossil serpulid polychaetes, with new data from the Pliocene of the Netherlands. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, pp. 113-120. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.01.024>.
- Kowalewski, M. 1996: Time-averaging, overcompleteness, and the geological record. *Journal of Geology*, **104**: 317-326.
- Kroh, A.; Nebelsick, J.H. 2010. Echinoderms and Oligo-Miocene carbonate systems: potential applications in sedimentology and environmental reconstruction. *Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ.*, **42**: 201-228.
- Lavina, E.L.; Lopes, R.C. 1986. A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul. *Paula Coutiana*, **1**: 51-103.
- Limarino, C.O.; Césari, S.N.; Net, L.I.; Marensi, S.A., Gutierrez, R.P.; Tripaldi, A. 2002. The Upper Carboniferous postglacial transgression in the Paganzo and Rio Blanco Basins (northwestern Argentina): Facies and stratigraphic significance: *Journal of South American Earth Sciences*, **15**: 445-460. Doi: 10.1016/S0895-9811(02)00048-2.
- Linse, K.; Griffiths, H.J.; Barnes, D.K.A.; Clarke, A. 2006. Biodiversity and biogeography of Antarctic and sub-Antarctic mollusca. *Deep-Sea Research II*, **53**: 985–1008.
- Lopez-Gamundí, O.R. 1986. Sedimentología de la Formación Tarija, Carbonífero de la sierra de Aguara Güe, provincia de Salta: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, **41**: 334-355.
- Lopez-Gamundí, O.R.; Buatois, L.A. 2010. Introduction: Late Paleozoic glacial events and postglacial transgressions in Gondwana. In López-Gamundí, O.R., and Buatois, L.A., eds., *Late Paleozoic Glacial Events and Postglacial Transgressions in*

- Gondwana: Geological Society of America Special Paper 468: v–viii. Doi: 10.1130/2010.2468(00).
- Lorenzo, N; Verde, M. 2004. Estruturas de bioerosión en moluscos marinos de la formación villa soriano (pleistoceno tardío-holoceno) de Uruguay. *Revista Brasileira de Paleontologia* **7**(3): 319-328.
- Martinell, J; Kowalewski, M; Domènech, R. 2012. Drilling Predation on Serpulid Polychaetes (*Ditrupa arietina*) from the Pliocene of the Cope Basin, Murcia Region, Southeastern Spain *PLoS ONE* **7**(4): e34576. doi:10.1371/journal.pone.0034576
- Martín-Ledo, R. 2010. Gigantism and dwarfism. Disponível em <http://brittlestars.wordpress.com/2010/11/21/gigantism-and-dwarfism/>, acesso em 04/06/2013.
- Martins, E.A. 1951. *Aviculopecten cambahyensis* n. sp. do Permocarbonífero do Rio Grande do Sul. *Boletim do Museu Nacional*, **13**: 1-5.
- Mason, J. 1957. The age and growth of the scallop, *Pecten maximus* (L.), in Manx waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **36**:473-492. <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315400025777>
- Mason, J. 1983. *Scallop and queen fisheries the British Isles*. Farnham, Fishing News Books Ltd., 144 p.
- McRoberts, C.A.; Krystyn, L.; Shea, A. 2008. Rhaetian (late triassic) monotis (bivalvia: pectinoida) from the eastern northern calcareous alps (austria) and the end-norian crisis in pelagic faunas. *Palaeontology*, **51**(3): 721-735.
- Medeiros, R.A.; Thomaz Filho, A. 1973. Fácies e ambientes deposicionais da Formação Rio Bonito. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, Aracaju, **27**, Anais: 3-12.
- Mikuláš, R. 1994. Finds of ichnofossils in the Ordovician of the Rozmítal Trench (Czech Republic). *Journal of the Czech Geological Society*, **39** (2-3): 241-243.
- Milani, E.J.; Melo, J.H.G.; Souza, P.A.; Fernandes, L.A.; França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, **15**:265-287.
- Nara, M. 1995. *Rosselia socialis* Dahmer 1937: a dwelling structure of a probable terebellid polychaete, *Lethaia*, **28**:171-178. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1502-3931.1995.tb01610.x>
- Nara, M. 2002. Crowded *Rosselia socialis* in Pleistocene inner shelf deposits: benthic paleoecology during rapid sea-level rise. *Palaios*, **17**: 268-276.

- Nara, M.; Haga, M. 2007. The youngest record of trace fossil *Rosselia socialis*: occurrence in the Holocene shallow marine deposits of Japan. *Paleontological Research*, **11**: 21-27.
- Netto, R.G.; Balistieri, P.R.M.N.; Lavina, E.L.C.; Silveira, D.M. 2009. Ichnological signatures of shallow freshwater lakes in the glacial Itararé Group (Mafra Formation, Upper Carboniferous–Lower Permian of Paraná Basin, S Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **272**: 240-255.
- Netto, R.G.; Benner, J.S.; Buatois, L.A.; Uchman, A.; Mángano, M.G.; Ridge, J.C.; Kazakauskas, V.; Gaigalas, A. 2012. Glacial environments. In: D. Knaust & R.G. Bromley (eds.), *Trace fossils as indicators of sedimentary environments*. Elsevier, Developments in Sedimentology **64**: 297-336.
- Nixon, M. 1980. The salivary papilla of Octopus as an accessory radula for drilling shells. *Journal of Zoology*, **190**: 53-57.
- Pagani, M.A. 2000. Bivalvos Del Permico Inferior de la Formación Bonete, Sierras Australes (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Ameghiniana*, **37**(3): 301-320.
- Parras, A.; Casadío, S. 2006. The Oyster *Crassostrea? Hatcheri* (Ortmann, 1897), a physical ecosystem engineer from the upper Oligocene-Lower Miocene of Patagonia, southern Argentina. *Palaios*, **21**:168-186.
- Pilson, M.E.Q.; Taylor, P.B. 1961: Hole drilling by Octopus. *Science* **134**: 1366-1368.
- Plewes, C.R. 1996. Ichnotaxonomic studies of Jurassic endoliths. PhD Thesis, University of Wales, Aberystwyth. 313 pp.
- Reed, F.R.C. 1930. Uma nova fáunula Permo-Carbonífera do Brasil. Serviço de Geologia e Mineralogia. (Monografia 10).
- Reineck, H.E; Gutmann, W.F.; Hertweck, G. 1967. Das schlickgebeit südlich Helgoland als beispiel rezenter schelfablagerungen: *Senckenbergiana Lethaea*, **48**: 219-275.
- Rocha-Campos, A.C. 1964. Contribuição à estratigrafia da região de Taió, S.C. Tese de doutorado, Faculdade de Filosofia, ciências e letras, Universidade de São Paulo, São Paulo, pp. 55.
- Rocha-Campos, A.C. 1967. The Tubarão Group in the Brazilian portion of the Paraná Basin. Cap. 2. In BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; PINTO, I. (ed) *Problens in Brazilian Gondwana Geology* 1967: 27-102.
- Rocha-Campos, A.C. 1966. Implicação em sistemática do tipo de fossilização dos Lamelibrânquios fósseis de Taió, Santa Catarina. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, **15**(2): 55-60.

- Rocha-Campos, A.C. 1970. Moluscos Permianos da Formação Rio Bonito (Subgrupo Guatá) SC. *Boletim DNPM, Divisão de Geologia e Mineralogia*, Rio de Janeiro, **251**: 7-75.
- Rocha-Campos, A.C.; Carvalho, R.G. 1975. Two new bivalves of the Permian Eurydesma fauna of Argentina. *Boletim IG-USP*, **6**: 185-191.
- Rocha-Campos, A.C.; Rösler, O. 1978. Late Paleozoic Faunal and Floral Successions in the Paraná Basin, Southeastern Brazil. *Boletim IG-USP*: 9-16.
- Rocha-Campos, A.C.; Simões, M.G. 1993. *Australomya sinuosa* sp.n., um novo Megadsmídeo (Mollusca, Pelecypoda) da Formação Rio Bonito (Permiano), Bacia do Paraná, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **65**(1): 29-39.
- Rudwick, M.J.S. 1985. Ecology and paleoecology. In: Moore, C.R. 1965. *Treatise on invertebrate paleontology. Part H Brachiopoda*. The University of Kansas Press and The Geological Society of America Press, Inc, 521p.
- Runnegar, B. 1979. Ecology of *Eurydesma* and the *Eurydesma* fauna, Permian of eastern Australia. *Alcheringa* **3**: 261-285.
- Runnegar, B.; Newell, N.D. 1974. *Edmondia* and the Edmondiacea shallow-burrowing Paleozoic pelecypods. *American Museum Novitates*, **2533**:1-20.
- Santos, A.; Mayoral, E. 2008. Bioerosion versus colonisation on Bivalvia: A case study from the Upper Miocene of Cacela (southeast Portugal). *Geobios*, **41**: 43-5
- Savazzi, E. 1999. Boring, nestling and tube-building bivalves. In Savazzi, E. (Ed.), *Functional morphology of the invertebrate skeleton*. Wiley, Chichester, pp. 205-237.
- Schäfer, W. 1972. *Ecology and paleoecology of marine environments*. Chicago, University of Chicago Press. 450 p.
- Schneider, R.L.; Mühlmann, H.; Tomamasi, E.; Medeiros, R.A.; Daemon, R.F.; Nogueira, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 28, Porto Alegre, Anais, **1**: 41-65.
- Schöne, B.R. 1999. Scleroecology: Implications for ecotypical dwarfism in oxygen-restricted environments (Middle Devonian, Rheinisches Schiefergebirge). *Senckenbergiana lethaea*, **79**(1): 35-41.
- Simões, M.G.; Ghilardi, R.P. 2000. Protocolo tafonômico/paleoautoecológico como ferramenta na análise paleossinecológica. *Pesquisas em Geociências*, **27**: 3-13.
- Simões, M.G.; Kowalewski, M. 1998. Shell beds as paleoecological puzzles: a case study from the Upper Permian of the Parana Basin, Brazil. *Facies*, **38**:175-196. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02537364>

- Simões, M.G.; Kowalewski, M.; Torello, F.F., Ghilardi, R.P.; Mello, L.H.C. 2000. Early onset of modern-style shell beds in the permian sequences of the Paraná basin: implications for the phanerozoic trend in Bioclastic accumulations. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(3): 499-503.
- Simões, M.G.; Torello, F.F. 2003. Modelo de tafofácies para os moluscos bivalves do grupo passa dois (formações serra alta, teresina e corumbataí), permiano superior, Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **33**(4): 371-380.
- Spencer, W.K.; Wright, C.W. 1966. Asterozoans U4. In Moore, R.C. (ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology Parte U, Echinodermata 3, Asterozoa – Echinozoa*. The University of Kansas Press and The Geological Society of America Press, Inc, 366p.
- Stanley, S.M. 1979. Functional morphology and evolutions of byssally attached bivalve mollusks. *Journal of Paleontology*, **46**(2): 165-212.
- Stanley, S.M.; Powell, M.G. 2003. Depressed rates of origination and extinction during the late Paleozoic ice age: A new state for the global marine ecosystem: *Geology*, **31**: 877-880. Doi: 10.1130/G19654R.1.
- Staudt, B. 2013. *Palinofácies do Membro Paraguaçu (Formação Rio Bonito) no município de Taió, SC*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 55 p.
- Sterren, A.F. 2008. Concentraciones bioclásticas del Carbonífero – Pérmico Inferior en la Precordillera argentina. Variaciones temporales y relación con las tendencias propuestas para el Fanerozoico. *Ameghiniana*, **45**(2):303-320.
- Sterren, A.F.; Cisterna, G.B. 2010. Bivalves and brachiopods in the Carboniferous - Early Permian of Argentine Precordillera: diversification and faunal turnover in Southwestern Gondwana. *Geologica Acta*, **8**(4):501-517. <http://dx.doi.org/10.1344/105.000001585>.
- Stöhr, S; Sautya, S.; Ingole, B. 2012. Brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) from seamounts in the Andaman Sea (Indian Ocean): first account, with descriptions of new species. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **92**(5):1195-1208. <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315412000240>
- Tapanila, L. 2006. Devonian *Entobia* borings from nevada, with a revision of *Topsentopsis*. *Journal of Paleontology*, **80**(4): 760-767.
- Taylor, P.D.; Wilson, M.A. 2003. Palaeoecology and evolution of marine hard substrate communities. *Earth-Science Reviews*, **62**: 1-103.

- Teichert, C. 1945. Parasitic worms in Permian brachiopod and pelecypod shells in western Australia. *American Journal of Science* **243**: 197-209.
- Thomaz Filho, A.; Medeiros, R.A. 1972. Projeto Rio Bonito – Fase 2. PETROBRAS/DESUL, *Relatório Interno 413*, 28p.
- Tognoli, F.M.W. 2002. Análise estratigráfica e paleoicnológica do Grupo Guatá no leste paranaense. IGCE/UNESP, Rio Claro, Dissertação de Mestrado, 90p.
- Tognoli, F.M.W. 2006. Estratigrafia das seqüências deposicionais do Grupo Guatá, borda leste da Bacia do Paraná. IGCE/UNESP, Rio Claro, Tese de Doutorado, 112p.
- Urlichs, M. 2011. Stunting in some invertebrates from the Cassian Formation (Late Triassic, Carnian) of the Dolomites (Italy). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen*, **265**(1):1-25. <http://dx.doi.org/10.1127/0077-7749/2012/0241>
- Vesely, F.F.; Assine, M.L. 2006. Deglaciation sequences in the Permo Carboniferous Itararé Group, Paraná Basin, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* **22**: 156-168.
- Villegas-Martín, J.; Rojas-Consuegra, R. 2011. Presencia del icnogénero Teredolites en un megabloque de la Formación Peñalver, límite Cretácico–Paleógeno (K/Pg), Cuba occidental, *Revista Española de Paleontología*, **26**(1): 45-52.
- Villegas-Martín, J.; Gibert, J.M.; Rojas-Consuegra, R.; Belaústegui, Z. 2012. Jurassic Teredolites from Cuba: New trace fossil evidence of early wood-boring behavior in bivalves, *Journal of South American Earth Sciences*, **38**: 123-128.
- Warne, J.E. 1975. Boring as trace fossils, and the processes of marine bioerosion. In Frey, R.W. (Ed.), *The Study of Trace Fossils*. Springer, New York, pp. 181-127.
- White, I.C. 1908. Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra no Brasil. Parte 1: 1-201.
- Wightman, D.M.; Pemberton, S.G.; Andsingh, C. 1987. Depositional modeling of the Upper Mannville (Lower Cretaceous), central Alberta: implications for the recognition of brackish water deposits: In: R.W. Tillman & K.J. Weber (eds.), *Reservoir sedimentology*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 40, p. 189-220.
- Yochelson, E.L.; Rocha-Campos, A.C. 1966. The Late Paleozoic gastropod genus *Warthia* in Brazil, *Jour. Paleontology*, **40**(3): 750-751.