UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO TAFONÔMICA DAS CONCENTRAÇÕES
FOSSILÍFERAS DA FORMAÇÃO CAPE MELVILLE,
GRUPO MOBY DICK (MIOCENO INFERIOR),
ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA**

Rafael Casati

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Anelli

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar

SÃO PAULO

2007

“Taphonomical research allows us to glance into the depth of ages from another point of view than which is in general use in paleontology.”

**Ivan A. Efremov
(1940)**

ÍNDICE GERAL

I. ÍNDICE DE FIGURAS
II. ÍNDICE DE QUADROS
III. AGRADECIMENTOS
IV. RESUMO
V. ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 PROBLEMÁTICA ENVOLVIDA	13
1.2 OBJETIVOS	16
1.3 JUSTIFICATIVAS	16
2. MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1 TRABALHOS DE CAMPO	17
2.2 TRABALHOS DE LABORATÓRIO	17
2.3 TRABALHOS DE ESCRITÓRIO	18
3. ÁREA DE ESTUDO	19
3.1 LOCALIZAÇÃO E GEOLOGIA DA PENÍNSULA MELVILLE	19
3.2 IDADE DA FORMAÇÃO CAPE MELVILLE	21
3.3 PALEONTOLOGIA DA FORMAÇÃO CAPE MELVILLE	22
4. RESULTADOS	23
4.1 ANÁLISE QUALITATIVA	23
4.2 ANÁLISE QUANTITATIVA	30
4.2.1 Composição faunística e ecológica	31
4.2.2 Tafonomia	36
4.2.3 Distribuição de frequência de tamanho	42
4.3 ANÁLISE MULTIVARIADA	44
4.4 ANÁLISE MORFOFUNCIONAL	52
5. DISCUSSÃO	56
5.1 PALEOAUTOECOLOGIA	56
5.1.1 Bivalves	56
5.1.2 Demais táxons	71
5.2 GÊNESE DAS CONCENTRAÇÕES FOSSILÍFERAS DA FORMAÇÃO CAPE MELVILLE	74
5.2.1 Seção Pingüineira Camada 1 (PRS-C1)	75
5.2.2 Seção Pingüineira Camada 2 (PRS-C2)	78
5.2.3 Seção Hard Ground (HGS)	81
5.2.4 Seções Chaminé (CS) e Lava Crag (LCS)	84
5.3 ORGANISMOS PIRITIZADOS COMO INDICADORES DA DINÂMICA SEDIMENTAR	89
5.3.1 Redução do Sulfato e formação da pirita	90
5.3.2 Pirita em Cape Melville e seu significado paleoambiental	93
5.3.3 Discussão e interpretação	94
6. CONCLUSÕES	97
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
 ANEXO A. MODELO DE TABELA DE ASSINATURAS TAFONÔMICAS UTILIZADA EM CAMPO	 111
ANEXO B. BIVALVES IDENTIFICADOS NA FORMAÇÃO CAPE MELVILLE	112

I. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Seções medidas no topo da Formação Cape Melville. PRS , Pingüineira; HGS , Hard Ground; CS , Chaminé; LCS , Lava Crag. Escala em metros. (Anelli <i>et al.</i> , 2006).....	15
Figura 2. Área de estudo. A) Localização da Península Melville. B) Empacotamento do Grupo Moby Dick. C) Geologia da Península Melville; A-D Seções e sítios fossilíferos	20
Figura 3. Composição taxonômica total e icnofósseis encontrados nas quatro seções levantadas no topo da Formação Cape Melville.....	31
Figura 4. Distribuição taxonômica total e icnofósseis em cada seção da Formação Cape Melville.....	32
Figura 5. Bivalves identificados nas quatro seções da Formação Cape Melville.	33
Figura 6. Guildas identificadas nas quatro seções da Formação Cape Melville. Legenda: DIR = Depositívoro da Infauna Rasa; Indeterm. = indeterminado; SIP = Suspensívoro da Infauna Profunda; SIR = Suspensívoro da Infauna Rasa (modificado de Aberhan, 1994).....	33
Figura 7. Distribuição dos bivalves em cada seção da Formação Cape Melville (lado esquerdo) e sua distribuição em guildas (lado direito). Legenda: DIR = Depositívoro da Infauna Rasa; SIP = Suspensívoro da Infauna Profunda; SIR = Suspensívoro da Infauna Rasa (modificado de Aberhan, 1994).....	34
Figura 8. Gráfico de barras comparando a desarticulação dos bioclastos nas quatro seções da Formação Cape Melville, entre as unidade e entre os táxons.....	37
Figura 9. Razões das valvas direitas e esquerdas de <i>Neilo (N.) rongelii</i> e bivalves indeterminados das Seções Chaminé e Lava Crag da Formação Cape Melville.....	37
Figura 10. Gráfico de barras comparando a orientação dos bioclastos nas quatro seções da Formação Cape Melville, entre as unidade e entre os táxons.....	38
Figura 11. Orientação do coral <i>F. rariseptatum</i> na Seção Hard Ground da Formação Cape Melville.....	39
Figura 12. Gráfico de barras comparando a orientação dos bivalves desarticulados nas seções Chaminé e Lava Crag com detalhe na disposição da convexidade das conchas orientadas concordantemente ao acamamento	40
Figura 13. Orientação azimutal dos bioclastos dispostos concordantemente em relação ao plano de acamamento nas quatro seções da Formação Cape Melville.....	41

Figura 14. Comparação entre a distribuição da frequência de tamanho dos bivalves mais abundantes (acima) e os menos abundantes (abaixo) nas quatro seções da Formação Cape Melville.....	42
Figura 15. Análise de agrupamento entre as Seções (modo Q).....	46
Figura 16. Análise de agrupamento entre as Seções (Modo Q), considerando apenas a composição taxonômica	46
Figura 17. Análise de agrupamento entre as variáveis (modo R).....	47
Figura 18. Análise de agrupamento entre as variáveis (modo R), excluindo as variáveis Guildas.....	48
Figura 19. Análise de agrupamento entre as Seções (modo Q).....	50
Figura 20. Análise de agrupamento entre as Seções, considerando apenas as assinaturas tafonômicas.....	50
Figura 21: Análise de agrupamento entre as variáveis (modo R)	51
Figura 22. Velocidade de escavação estimada para os bivalves da Formação Cape Melville (de acordo com Stanley, 1970).....	53
Figura 23. Morfologia interna dos bivalves analisados da Formação Cape Melville: A) Bivalves com linha palial integropaliada, da esquerda para a direita, <i>Ennucula frigida</i> , <i>E. musculosa</i> e <i>Limopsis psimolis</i> , moldes internos preservados e desenhos esquemáticos; B) Bivalves com linha palial seiopaliada, da esquerda para a direita, <i>Yoldia peninsularis</i> , <i>Neilo (N.) rongelii</i> , <i>Periploma acuta</i> e <i>Panopea (P.)</i> cf. <i>P. regularis</i> , moldes internos preservados e desenhos esquemáticos. Legenda: LP , Linha Palaial; LPS ; SP , Seio Palial (de acordo com Anelli <i>et al.</i> , 2006).....	55
Figura 24. Movimento de balanço da concha e direção de penetração relativos ao alongamento da concha	60
Figura 25. Radiografias de <i>Nucula proxima</i> no sedimento, mostrando movimentação e variadas posições de vida em 15min. (1), 30min. (2) e 26h. (3) a partir do momento em que os animais foram colocados no aquário (extraído de Stanley, 1970).....	60
Figura 26. Posicionamento de <i>N. proxima</i> e <i>Y. limatula</i> de 2 a 3cm abaixo da interface água/sedimento (de acordo com Rhoads e Young, 1970)	61
Figura 27. Emerção do pé de <i>Yoldia limatula</i> a partir de uma região oblíqua ao eixo maior da concha (de acordo com Stanley, 1970).....	62

- Figura 28.** *Yoldia limatula* enterrada no sedimento com quase um terço da extremidade posterior exposta acima da superfície do sedimento (de acordo com Rhoads, 1963) 63
- Figura 29.** **A.** *Yoldia limatula* se alimentando em subsuperfície; **B.** *Yoldia limatula* se alimentando na superfície (extraído de Bender e Davis, 1984)..... 64
- Figura 30.** Posição de vida de *Panopea japonica* (de acordo com Kondo, 1990) 65
- Figura 31.** Provável posição de vida de *Neilo (Neilo) rongelii* 66
- Figura 32.** Provável posição de vida de *Periploma acuta* 67
- Figura 33.** Orientação de *Limopsis tajimae* em posição de vida (de acordo com Kondo, 1989)..... 68
- Figura 34.** Posição de vida do coral *Flabellum rariseptatum* (segundo Roniewicz e Moricowa, 1987) 72
- Figura 35.** Síntese dos resultados obtidos na Seção PRS-C1. **A,** Composição total; **B,** Composição Faunística – Bivalves; **C,** Guilda – Bivalves; **D,** Desarticulação – Bivalves; **E,** Orientação – Bivalves; **F,** Distribuição de Frequência de Tamanho de *E. musculosa*; **G,** Orientação em planta. 77
- Figura 36.** Síntese dos resultados obtidos na Seção PRS-C2. **A,** Composição total; **B,** Composição Faunística – Bivalves; **C,** Guilda – Bivalves; **D,** Desarticulação – Bivalves; **E,** Orientação – Bivalves; **F,** Distribuição de Frequência de Tamanho de *Y. peninsularis*; **G,** Orientação em planta. 80
- Figura 37.** Síntese dos resultados obtidos na Seção HGS. **A,** Composição total; **B,** Composição Faunística – Bivalves; **C,** Guilda – Bivalves; **D,** Desarticulação – Bivalves; **E,** Orientação – Bivalves; **F,** Distribuição de Frequência de Tamanho de *E. frigida*; **G,** Orientação em planta. 83
- Figura 38.** Síntese dos resultados obtidos na Seção CS. **A,** Composição total; **B,** Composição Faunística – Bivalves; **C,** Guilda – Bivalves; **D,** Desarticulação – Bivalves, VE, Valva esquerda, VD, Valva direita; **E,** Orientação – Bivalves; **F,** Distribuição de Frequência de Tamanho de *N. (N.) rongelii*; **G,** Orientação em planta. 87
- Figura 39.** Síntese dos resultados obtidos na Seção LCS. **A,** Composição total; **B,** Composição Faunística – Bivalves; **C,** Guilda – Bivalves; **D,** Desarticulação – Bivalves, VE, Valva esquerda, VD, Valva direita; **E,** Orientação – Bivalves; **F,** Distribuição de Frequência de Tamanho de *N. (N.) rongelii*; **G,** Orientação em planta. 88
- Figura 40.** Esquema dos processos envolvidos na produção de pirita (de acordo com Canfield e Raiswell, 1991a) 91

Figura 41. Crescimento de pirita em sedimentos em relação a níveis de oxigenação e taxa de sedimentação. Os campos A e B são explicados no texto (Modificado de Brett e Baird, 1986).....	92
Figura 42. Gráfico de barras comparando Posição de vida Vs. Fora da Posição de vida para os bivalves e para os corais da Seção Hard Ground da Formação Cape Melville	94
Figura 43. Interpretação da gênese do depósito fossilífero da Seção Hard Ground. Legenda: DPR – descontinuidade de potencial de redox. Explicação no texto	96

II. ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Abundâncias Absolutas e Relativas dos táxons e icnofósseis da Formação Cape Melville.....	30
Quadro 2. Matriz original para a análise multivariada possuindo cinco amostras e dezoito variáveis (valores em porcentagem)	44
Quadro 3. Matriz modificada para a análise multivariada possuindo cinco amostras e oito variáveis (valores em porcentagem)	49
Quadro 4. Síntese da interpretação do modo de vida dos bivalves estudados na Formação Cape Melville. Legenda: DIR = Depositívoro da Infauna Rasa; Indeterm. = indeterminado; SIP = Suspensívoro da Infauna Profunda; SIR = Suspensívoro da Infauna Rasa	70

III. AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos:

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Luiz Eduardo Anelli (IGc-USP), por me conceder estágio no Instituto de Geociências da USP depositando em mim confiança necessária para trabalhar com o seu primeiro material coletado na Antártica;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro concedido a partir da segunda metade do mestrado;

Ao Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões (Unesp-Botucatu), pela amizade e pelos constantes ensinamentos sobre esta fascinante ciência que é a Tafonomia;

Aos Professores Dr. Paulo Roberto dos Santos e Dr. Renato Paes de Almeida (IGc-USP) pela indispensável ajuda no tratamento sedimentológico do presente trabalho;

Ao Prof. Dr. Osmar Domaneschi (IB-USP), por apresentar, de modo ímpar, o maravilhoso mundo dos bivalves e por ser o melhor exemplo de professor que já tive;

Ao Prof. Dr. Thomas Rich Fairchild (IGc-USP), sem o qual teria escrito toda esta dissertação no precário computador “*Shell Bed*” e pela oportunidade de atuar como monitor da disciplina Paleontologia durante 3 semestres, sendo esta experiência de grande valia no meu crescimento profissional;

Ao Prof. Dr. Renato Pirani Ghilardi (Unesp-Bauru), pela amizade e pelas dicas na descrição e interpretação da Paleoautoecologia dos bivalves estudados;

Aos Professores Dr. Fábio Ramos Dias de Andrade, Dr. Daniel Atencio e Dr. Reginaldo Antonio Bertolo (IGc-USP), pelas conversas e pistas durante a minha investigação sobre a diagênese do depósito que estudei, tentando decifrar como se deu a formação de pirita nos fósseis analisados;

Aos “irmãos de armas”, os tafônomos Sabrina Coelho Rodrigues e Wolverine (Ricardo Pires Domingues), pelas dicas preciosas que me garantiram um maior refinamento na elaboração deste trabalho;

À amiga e colega bióloga Fernanda Quaglio, pelo cuidado ao tratar dos “nossos bichos” e pela disponibilidade para conversas a respeito da Dissertação;

Ao meu antigo colega de sala, colega de profissão e grande amigo, o desorganizado Portuga (Rodrigo César Marques), pelas risadas oportunas, pelo peculiar gosto musical durante o trabalho (que acabei incorporando, em parte) e por seu imenso conhecimento inútil e útil;

Aos insanos amigos o cavernícola Penéllope (Leandro Canaver) e o paleolouco Pirula (Paulo Nascimento), pois nenhum trabalho se faz sem a tradicional pausa para o café e as zueiras que somente estes caras sabem fazer;

Aos amigos geólogos Flávio Silva, Bruno Lenhare, Pegmatito (Daniel) e toda galera do GGEO, aos biólogos Cléber Calça, Evelyn Sanchez e Guilherme Raffaeli e aos demais amigos do corredor C pelas conversas enriquecedoras, pelas dicas, pelo papo furado e por mais pausas pro café!;

Aos funcionários do Instituto de Geociências da USP, em especial às bibliotecárias Brenda Maria Mascarenhas Guimarães e Érika Celeste do Nascimento, aos funcionários da seção gráfica Henrique Martins e Claudionor Barboza, e às secretárias da Seção de Pós-Graduação Ana Paula Cabanal e Magali Poli Fernandes Rizzo, por serem extremamente prestativos e simpáticos;

Ao estatístico Fernando Cristiano Cordeiro, pela fundamental ajuda nesse estranho mundo da Estatística;

Aos meus pais, pelo principal apoio financeiro que tive durante a primeira metade do Mestrado, pela formação do meu caráter, pela confiança e paciência;

À Lari. Ninguém teria paciência de ditar incansavelmente um milhão de assinaturas tafonômicas e ainda continuar ao meu lado. Pelo apoio incondicional, confiança e amor.

IV. RESUMO

CASATI, R. 2007. *Caracterização tafonômica das concentrações fossilíferas da Formação Cape Melville, Grupo Moby Dick (Mioceno Inferior), Ilha Rei George, Antártica*. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, SP. 112f.

Trabalhos objetivando a tafonomia de concentrações fossilíferas geradas em ambiente glacial ou periglacial são raros. Neste contexto, a presente dissertação realizou a caracterização tafonômica das concentrações fossilíferas da Formação Cape Melville, Grupo Moby Dick (Mioceno Inferior), Ilha Rei George, Antártica, tendo em vista a elucidação da gênese destes depósitos. Para tanto, dados relativos a um total de 534 espécimes foram obtidos nas camadas ricamente fossilíferas das quatro seções, denominadas Pingüineira (PRS), Hard Ground (HGS), Chaminé (CS) e Lava Crag (LCS), levantadas no topo da Península Melville entre Janeiro e Fevereiro de 2003. Destas, apenas a Seção PRS apresenta duas camadas fossilíferas distintas (PRS-C1 e PRS-C2). A fauna estudada é composta predominantemente por restos de moluscos bivalves. Restos menos abundantes de corais, caranguejos, gastrópodes e braquiópodes, além de icnofósseis, também estão presentes. A análise da composição taxonômica, ecológica e tafonômica permitiu identificar semelhanças entre as Seções PRS e HGS e entre as Seções CS e LCS. As seções PRS e HGS são compostas predominantemente por bivalves depositivos da infauna rasa (*Ennucula frigida*, *Ennucula musculosa* e *Yoldia peninsularis*), preservados preferencialmente com as valvas articuladas fechadas, porém fora da posição de vida, indicando remobilização da fauna pré-soterramento; a ausência de sinais de fragmentação, abrasão e incrustação indica que os bioclastos não foram afetados por processos bioestratinômicos químicos, físicos ou biológicos intensos. A ocorrência de bioclastos piritizados na Seção HGS é interpretada como resultante da decomposição dos organismos soterrados, ainda vivos, em ambiente anóxico. As assembléias das seções CS e LCS são constituídas predominantemente por bivalves suspensívoros da infauna profunda (*Neilo (N.) rongelii*), preservados preferencialmente com as valvas desarticuladas, indicando que os processos bioestratinômicos físicos foram mais atuantes, sendo, no entanto, raros os sinais de fragmentação e de outras assinaturas tafonômicas como incrustação e bioerosão. As valvas desarticuladas estão preservadas preferencialmente com a convexidade voltada para baixo indicando que os bioclastos foram colocados em suspensão e redepositados fora da posição de maior estabilidade hidrodinâmica; a orientação em planta destes bioclastos exibe direção preferencial, indicando atuação de correntes fracas e um maior tempo de exposição na interface água/sedimento; a ocorrência de raros restos de bivalves suspensívoros escavadores da infauna profunda (*Panopea (P.)* cf. *P. regularis*) e de caranguejos (*Antarctidromia inflata*) preservados em posição de vida é indicativa de que esta comunidade foi soterrada *in situ* por sedimentos em suspensão que trouxeram a tanatocenose de valvas desarticuladas. Os resultados obtidos no presente estudo reiteram a importância dos estudos tafonômicos e paleoecológicos no entendimento da dinâmica deposicional do passado, contribuindo com um grande conjunto de dados úteis na caracterização de ambientes glaciais e periglaciais.

Palavras-Chave: Tafonomia; bivalves; invertebrados; Antártica; Cenozóico.

V. ABSTRACT

CASATI, R. 2007. Caracterização tafonômica das concentrações fossilíferas da Formação Cape Melville, Grupo Moby Dick (Mioceno Inferior), Ilha Rei George, Antártica. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, SP. 112f.

Works focusing on the taphonomy of fossil concentrations generated in glacial or periglacial environment are rare. In this context, the present dissertation carried out the taphonomic characterization of the fossil concentrations of the Cape Melville Formation, Moby Dick Group (Lower Miocene), King George Island, Antarctica, in order to elucidate the genesis of these deposits. To this end, data relative to a total of 534 specimens were obtained in the richly fossil layers of the four sections, called Pingüineira (PRS), Hard Ground (HGS), Chaminé (CS) and Lava Crag (LCS), investigated at the top of the Melville Peninsula between January and February of 2003. Of these, only the PRS Section presents two distinct fossil layers (PRS-C1 and PRS-C2). The studied fauna is mainly composed of remains of bivalve clams. Less abundant remains of corals, crabs, gastropods and brachiopods, as well as trace fossils, also are present. Taxonomic, ecological and taphonomic analyses allowed similarities to be identified between PRS and HGS and CS and LCS. PRS and HGS Sections are dominantly composed by shallow infaunal deposit-feeding bivalves (*Ennucula frigida*, *Ennucula muscosa* *Yoldia peninsularis*), preserved preferentially with closed articulated valves, however out of life position, indicating remobilized fauna; the absence of signs of spalling, abrasion and incrustation indicates that the bioclasts were not affected by intense chemical, physical or biological biostratinomic processes. The occurrence of pyritized bioclasts in HGS is interpreted as the result of decomposition of the entombed organisms, still alive, in an anoxic environment. The assemblages of CS and LCS Sections are dominantly constituted by deep infaunal suspension-feeding bivalves (*Neilo (N.) rongelii*), preserved preferentially with disarticulated valves, indicating that the physical biostratinomic processes were more operative; however there are few signs of spalling or other taphonomic signatures such as incrustation and bioerosion. Disarticulated valves are preferentially preserved convex down indicating that bioclasts were placed in suspension and redeposited in a position other than that of greatest hydrodynamic stability; the orientation of these bioclasts in plan view shows a preferential direction, indicating weak currents and a longer time of exposition at the water/sediment interface; the occurrence of rare remains of deep infaunal suspension-feeding bivalves (*Panopea (P.)* cf. *P. regularis*) and crabs (*Antarctidromia inflata*) preserved in life position is indicative that this community was entombed *in situ* by sediments in suspension that brought the thanatocenosis of disarticulated valves. The results obtained in the present study reiterate the importance of taphonomic and paleoecological studies for the understanding of the depositional dynamics of the past and contribute a great number of data useful in the characterization of glacial and periglacial environments.

Key-Words: Taphonomy; bivalves; invertebrates; Antarctica; Cenozoic.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 20 anos, houve um enorme avanço no entendimento da gênese de concentrações fossilíferas em decorrência das contribuições de estudos tafonômicos na interpretação de paleoambientes ricos em restos esqueléticos de invertebrados, vertebrados ou vegetais (Kidwell *et al.*, 1986; Fürsich e Flessa, 1987; Davies *et al.*, 1989; Behrensmeier e Hook, 1992; Fürsich e Oschmann, 1993). A determinação objetiva de parâmetros ambientais (*e.g.*, taxa de sedimentação, regime hidráulico e oxigenação da água) (ver Brett e Baird, 1986; Kidwell *et al.*, 1986; Speyer e Brett, 1985, 1991) é mais apropriadamente definida com base em uma caracterização tafonômica quantitativa e qualitativa, envolvendo informações bioestratinômicas, estratigráficas, sedimentológicas, paleoecológicas e diagenéticas (Rhoads, 1963; Rhoads e Young, 1970; Simões e Holz, 1997; Lazo, 2004; Holz e Simões, 2005). Assim, feições tafonômicas das concentrações fossilíferas contribuem na interpretação de seus processos geradores (Fürsich e Oschmann, 1993), permitindo o reconhecimento de concentrações geradas rapidamente durante períodos de instabilidade ambiental (*e.g.*, tempestades, eventos de toxicidade) ou sob a forma de acúmulos condensados que abrangem um intervalo de tempo maior.

Pode-se verificar, também, a ocorrência de mistura temporal (*time-averaging*) de restos esqueléticos de populações ou comunidades não contemporâneas (Walker e Bambach, 1971; Kidwell, 1982; Fürsich e Aberhan, 1990; Kidwell e Bosence, 1991; Flessa *et al.*, 1993; Kidwell e Behrensmeier, 1993; Kowalewski, 1996a, 1997; Meldahl *et al.*, 1997; Lazo, 2004). Tais distorções temporais introduzem tendenciamentos nas acumulações esqueléticas e, portanto, têm importantes implicações nas interpretações paleoecológicas e evolutivas (Walker e Bambach, 1971; Peterson, 1985; Fürsich, 1978; Kidwell e Aigner, 1985; Kidwell *et al.*, 1986; Staff *et al.*, 1986; Staff e Dowell, 1990; Fürsich e Aberhan, 1990; Kidwell e Bosence, 1991; Flessa e Kowalewski, 1994; Kowalewski, 1996a; Kowalewski *et al.*, 1998; Brett e Baird, 1997; Carroll *et al.* 2000; Simões e Ghilardi, 2000).

Estudos tafonômicos podem também auxiliar nas interpretações paleoclimáticas (Flessa e Kowalewski, 1994; Kowalewski *et al.*, 1994; Mii e Rossman, 1994), no estabelecimento de tafofácies e camadas-guias, além de serem utilizados como ferramenta na análise de bacias (ver revisões em Kidwell *et al.*, 1986; Brett e Baird, 1986; Donovan, 1991; Allison e Briggs, 1991; Kidwell e Behrensmeier, 1993; Simões, 1996a). A análise tafonômica pode ainda contribuir para o entendimento da influência de sucessivas gerações vivendo em

substrato bentônico e sua produção de partes duras na estrutura e dinâmica de comunidades bentônicas (*taphonomic feedback*) (Kidwell e Jablonski, 1983; Kidwell *et al.*, 1986; Kidwell e Holland, 1991).

Esses estudos são essenciais para uma compreensão mais acurada da história evolutiva dos organismos, uma vez que o registro fóssil é, em parte, consequência de processos bioestratinômicos e diagenéticos que obscurecem, ou mesmo alteram os sinais evolutivos (Greenstein, 1992; Kowalewski 1996b, c; Kowalewski e Flessa, 1996; Nunes, 1999). Além disso, questões como a relação entre os organismos vivos, estrutura trófica, influência de formas detritívoras no substrato, entre outras, só são resolvidas após a caracterização tafonômica das concentrações de bioclastos (Simões, 1998; Simões e Kowalewski, 1998a, b; Simões e Ghilardi, 2000). Pode-se concluir que a Tafonomia é o pré-requisito básico para a resolução de problemas paleoecológicos (Behrensmeyer e Kidwell, 1985).

O arcabouço bibliográfico internacional resultante de estudos da bioestratinomia de concentrações fossilíferas envolvendo invertebrados é consideravelmente amplo (*c.f.*, Kondo, 1989, 1990, 1997, 1998; Kondo e Iyoda, 1993; Kondo e Kikuchi, 1995). No Brasil, há um número elevado de trabalhos sobre a tafonomia de invertebrados, realizados a partir do estudo de concentrações fósseis da Bacia do Paraná (Simões, 1996a, b; 1998; Simões e Rocha-Campos, 1994; Simões *et al.*, 1994, 1996, 1997a, b, 1998a, b, c; Torello, 1999; Torello e Simões, 1994, 1997; Torello *et al.*, 1997; Klein, 1997; Klein *et al.*, 1997a, b), e mesmo para concentrações recentes (Kowalewski *et al.* 2002; Simões *et al.*, 2005; Rodrigues, 2006).

No entanto existem poucos trabalhos objetivando a tafonomia de concentrações fossilíferas geradas em ambiente glacial ou periglacial (ver item 3.3 PALEONTOLOGIA DA FORMAÇÃO CAPE MELVILLE).

Trabalhos sobre estratigrafia, idade, paleogeografia e paleontologia dos estratos glaciais da Ilha Rei George iniciaram-se no princípio da década de 80, com grandes contribuições de Birkenmajer, (1982a, 1984), Birkenmajer *et al.* (1983) (ver também síntese das pesquisas antárticas em Birkenmajer, 2003). Desde então, teve início a descrição taxonômica de vários invertebrados coletados nos estratos cenozóicos da Ilha Rei George, incluindo nanoplânctons, diatomáceas, foraminíferos, poliquetos (Szaniawski e Wrona, 1987), briozoários, braquiópodes (Biernat *et al.*, 1985), gastrópodes (Karczewski, 1987), ostrácodes (Blaszyk, 1987), crustáceos (Förster *et al.*, 1987), equinóides (Jesionek-Szymańska, 1987) e bivalves (Anelli *et al.*, 2006).

As concentrações de bivalves da Formação Cape Melville são as únicas reconhecidas em sedimentos de idade miocênica do continente antártico e as primeiras a terem parte do seu

conteúdo fossilífero tratado do ponto de vista tafonômico. O Mioceno Inferior guarda o registro geológico imediatamente após a separação terminal do continente, que marca o início do isolamento climático do continente antártico. Este estudo introduzirá dados originais como suporte para discussões sobre a origem de concentrações fossilíferas em ambientes glaciais, ou periglaciais, de idade cenozóica.

O presente trabalho representa uma vertente dos trabalhos investigativos em busca da elucidação da dinâmica geológica e paleoclimática da Antártica, ao integrar o projeto “*Mudanças paleoclimáticas na Antártica durante o Cenozóico: o registro geológico terrestre*”, coordenado pelo Prof. Dr. Paulo Roberto dos Santos do Instituto de Geociências - USP.

1.1 PROBLEMÁTICA ENVOLVIDA

Quatro seções geológicas, denominadas Pingüineira, Hard Ground, Chaminé e Lava Crag (Figura 1), apresentando camadas ricamente fossilíferas foram levantadas no topo da Península Melville em trabalhos de campo realizados entre Janeiro e Fevereiro de 2003.

A Seção Pingüineira (PRS) apresenta duas camadas fossilíferas com espessuras centimétricas. A primeira camada (PRS-C1) contém predominantemente restos de conchas articuladas caoticamente orientadas do bivalve depositívoro escavador da infauna rasa *Ennucula musculosa* e restos mais raros de conchas também articuladas e caoticamente orientadas de bivalves indeterminados, além de conchas articuladas orientadas preferencialmente com o plano de comissura concordante em relação ao plano de acamamento do bivalve depositívoro escavador da infauna rasa *Yoldia peninsularis*. Outros táxons presentes são restos de gastrópodes, braquiópodes, icnofósseis (tubos preenchidos por fragmentos de conchas) e um único espécime do coral escleractíneo *Flabellum rariseptatum* (Roniewicz e Morycowa, 1987); a segunda camada (PRS-C2) é composta predominantemente por restos de conchas preferencialmente articuladas e orientadas preferencialmente com o plano de comissura concordante em relação ao plano de acamamento de *Yoldia peninsularis*, além de gastrópodes e subsidiários bivalves indeterminados e icnofósseis.

A Seção Hard Ground (HGS) apresenta uma camada fossilífera centimétrica contendo preferencialmente restos de conchas articuladas caoticamente orientadas do bivalve depositívoro escavador da infauna rasa *Ennucula frigida*, subsidiários restos de conchas desarticuladas orientadas preferencialmente com o plano de comissura concordante ao acamamento de bivalves indeterminados e restos de conchas desarticuladas obliquamente orientadas pertencentes a *Y. peninsularis*, além de raros restos de conchas articuladas dos bivalves suspensívoros escavadores da infauna profunda *Periploma acuta* e da infauna rasa *Limopsis psimolis*. Outros táxons são representados por restos abundantes de corais (*F. rariseptatum*), além de poucos gastrópodes e caranguejos. Foi registrada, apenas nesta seção, a presença de bioclastos (bivalves e corais) total ou parcialmente piritizados.

As Seções Chaminé (CS) e Lava Crag (LCS), embora separadas por uma distância de aproximadamente 1,5 km, aparentemente apresentam uma associação taxonômica e tafonômica semelhante com espécimes preferencialmente desarticulados do bivalve suspensívoro escavador da infauna profunda *Neilo (Neilo) rongelii*, além de caranguejos, gastrópodes e icnofósseis. Nestas seções, foi registrada a ocorrência de restos de conchas

articuladas perpendicularmente orientadas do bivalve suspensívoro escavador da infauna profunda *Panopea (Panopea)* cf. *Panopea regularis*.

A atuação de processos bioestratinômicos e diagenéticos, tais como transporte, fragmentação, bioerosão, preservação e dissolução diferencial, seleção e joeiramento (*winowing*) pode promover tendenciamentos na abundância e diversidade das concentrações de bioclastos (Noble e Logan, 1981; Dowell *et al.*, 1984; Cummins *et al.*, 1986; Staff *et al.*, 1986; Davies *et al.*, 1989).

Por outro lado, diferenças observadas no conteúdo fossilífero das seções Pingüineira, Hard Ground, Chaminé e Lava Crag, podem estar relacionadas a fatores ambientais que interferem na distribuição dos organismos (*e.g.*, luz, salinidade, temperatura, batimetria, taxa de sedimentação, nutrientes, entre outros) (ver Brenchley e Harper, 1998).

Diante disso, este estudo teve o intuito de caracterizar bioestratinomicamente as concentrações fossilíferas presentes no topo da Formação Cape Melville e verificar se estas foram geradas por processos bioestratinômicos e diagenéticos ou essencialmente paleoecológicos. A caracterização tafonômica das concentrações de bioclastos presentes, associada com um intenso estudo estatístico, é o pré-requisito básico para a resolução de problemas desta natureza.

Figura 1. Seções medidas no topo da Formação Cape Melville. **PRS**, Pingüineira; **HGS**, Hard Ground; **CS**, Chaminé; **LCS**, Lava Crag. Escala em metros. (Anelli *et al.*, 2006)

1.2 OBJETIVOS

Em vista das questões expostas anteriormente, este estudo tem como objetivos:

- 1) Caracterizar bioestratinomicamente as concentrações fossilíferas da Formação Cape Melville;
- 2) interpretar a sua gênese e;
- 3) discutir se essas acumulações foram controladas por fatores paleoecológicos e/ou bioestratinômicos.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Os seguintes pontos, abaixo mencionados, justificam o estudo e a abordagem proposta neste projeto:

- 1) Os sedimentos do topo da Formação Cape Melville são abundantemente fossilíferos e os espécimes presentes apresentam boa qualidade de preservação;
- 2) A taxonomia previamente estabelecida mostra-se adequada para o estudo tafonômico aqui proposto;
- 3) Cerca de 3 mil assinaturas tafonômicas foram obtidas para mais de 500 espécimes coletados nas quatro seções da formação Cape Melville;
- 4) Existem somente breves estudos tafonômicos para a Formação Cape Melville, sendo os mesmos essenciais para a compreensão da gênese das concentrações fossilíferas e para análises paleobiológicas modernas;
- 5) O presente estudo insere-se no contexto do projeto “Mudanças paleoclimáticas na Antártica durante o Cenozóico: o registro geológico terrestre”, vinculado ao Centro de Pesquisas Antárticas do Instituto de Geociências da USP, coordenado pelo Prof. Dr. Paulo Roberto dos Santos do Instituto de Geociências – USP;
- 6) O projeto também apresenta vínculos com outro projeto de mestrado no mesmo instituto (CAPES; Quaglio, em preparação) tratando de outros aspectos paleontológicos como a taxonomia, determinação de idade, isótopos estáveis e origem da fauna.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados em Janeiro e Fevereiro de 2003 na Operação Antártica XXI, ligada ao Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR).

Foram utilizadas técnicas de alpinismo que possibilitaram, pela primeira vez, o levantamento de seções estratigráficas, a descrição das fácies e a coleta detalhada de amostras das Formações Destruction Bay e Cape Melville (Perinotto *et al.*, 2003).

As seções levantadas no topo da Formação Cape Melville receberam originalmente os nomes Penguin Rookery Section (PRS), Hard Ground Section (HGS), Chaminé Section (CS) e Lava Crag Section (LCS). Na presente dissertação, as siglas foram mantidas, porém, a fim de facilitar a leitura, a seção PRS é aqui denominada Pingüineira (tradução do nome original).

Um grande número de espécimes (cerca de 500 indivíduos) foi coletado para estudos de taxonomia. Os bioclastos foram coletados e estudados, de modo geral, com base na metodologia proposta por Simões e Ghilardi (2000). Apesar da impossibilidade de coleta de blocos orientados, uma vez que a matriz era bastante friável, feições como composição faunística e ecológica, biometria, grau de desarticulação, orientação em planta e em corte e qualidade de preservação foram obtidas ainda em campo por meio de preenchimento de tabelas de assinaturas tafonômicas (ANEXO A).

2.2 TRABALHOS DE LABORATÓRIO

A análise bioestratinômica envolveu a descrição das assinaturas tafonômicas de acordo com Fürsich e Oschmann, 1993. Dentre essas, destacam-se a orientação tridimensional dos bioclastos na matriz (Kidwell *et al.*, 1986), o grau de desarticulação dos espécimes (Brett e Baird 1986, 1997) e a qualidade de preservação dos mesmos (Fürsich e Oschmann, 1993). Esses dados, associados a outros de natureza sedimentológica (*e.g.*, estruturas sedimentares, grau de empacotamento), estratigráfica (*e.g.*, contatos estratigráficos, geometria da concentração fossilífera) e paleoecológicas (*e.g.*, índice de bioturbação, composição taxonômica, modo de vida) (Kidwell *et al.*, 1986, Kidwell e Holland, 1991, Miller e Smail, 1997), possibilitaram o reconhecimento de padrões de preservação nas concentrações estudadas, bem como a determinação de fatores abióticos e bióticos (Fürsich e Oschmann, 1993) responsáveis pela gênese das concentrações.

2.3 TRABALHOS DE ESCRITÓRIO

As atividades de escritório fundamentaram-se em levantamentos bibliográficos constantes, utilizando a rede mundial de computadores (Internet), objetivando o acesso às novas fontes de bibliografia e publicações mais recentes. Além disso, foram utilizados programas específicos de revisão bibliográfica (*Georef database research*, *Zoological record*, *Biological abstract*), os quais possuem como base de dados os principais periódicos de cunho paleontológico, geológico, zoológico e ecológico.

Para a análise paleoautoecológica foi realizado um estudo comparativo entre os bioclastos encontrados na Formação Cape Melville e espécies aparentadas, ou morfológicamente semelhantes, viventes e fósseis, já bem conhecidas na literatura, uma vez que se trata, na maioria dos casos, de espécies novas, não existindo na literatura qualquer citação a respeito do modo de vida desses organismos.

Tendo em vista que a análise estatística multivariada é de grande valia em estudos comparativos e de agrupamento, foram realizados testes dessa natureza e gerados diversos gráficos que elucidassem os resultados obtidos.

Os dados quantitativos foram organizados utilizando Microsoft Excel 7.0, no qual foram obtidos gráficos de comparação da distribuição dos valores (gráficos de pizza e de barra). Os gráficos estatísticos foram gerados a partir do Software gratuito PAST (*Palaeontological Statistics*) e as análises estatísticas foram realizadas a partir do Software gratuito MiniTab. Foram realizados testes não paramétricos (ex.: G-Test, Wilcoxon, Kolmogorov-Smirnov) (Woolf, 1957, Siegel, 1975). O nível de significância de 5% (0,05) foi usado como critério para rejeitar a hipótese nula.

A terminologia empregada na descrição das concentrações fossilíferas foi baseada em Brett e Baird (1986), Kidwell *et al.* (1986), Fürsich e Oschmann (1993), Kidwell e Bosence (1991) e Kidwell e Holand (1991).

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO E GEOLOGIA DA PENÍNSULA MELVILLE

A Península Melville localiza-se no extremo nordeste da Ilha Rei George (62°S/58,5°O), arquipélago das Shetland do Sul, a oeste da Península Antártica (Figura 2A). Com aproximadamente três quilômetros de comprimento e largura média de 600 metros, esta península é margeada por rochedos verticais, que tornam difícil o acesso. Muito embora a ilha Rei George seja atualmente quase totalmente revestida por uma cobertura de gelo, a península Melville caracteriza-se por uma das raras áreas de rochas expostas da ilha.

Segundo Birkenmajer (1982a, 1984, 2003), a Península Melville é constituída essencialmente por depósitos terciários glácio-marinhos sobre basaltos, determinando o Grupo Moby Dick que inclui três unidades litostratigráficas: a Formação Sherrat Bay (inferior), a Formação Destruction Bay (intermediária), e a Formação Cape Melville (superior) (Figuras 2B e 2C).

A Formação Sherrat Bay consiste de lâminas basálticas (olivina-augita) extrudidas e resfriadas no ambiente continental, entre as quais foram depositados sedimentos marinhos fossilíferos durante o Período Cretáceo (Birkenmajer, 1982a, 1984).

Sobre esta formação, repousa disconformemente o pacote sedimentar eoterciário da Península Melville, composto pelas formações Destruction Bay e Cape Melville.

A Formação Destruction Bay é constituída de depósitos areníticos praias e costeiros, provenientes do retrabalhamento de rochas basálticas em ambiente costeiro (Birkenmajer, 1982a; Santos *et al.* 1990).

Encerrando o pacote deposicional, desenvolve-se o intervalo glacial mais jovem da Ilha Rei George (Santos *et al.*, 1990): a Formação Cape Melville, que repousa conformemente e em contato brusco, sobre a Formação Destruction Bay, na porção noroeste da península e discordantemente sobre as rochas ígneas da Formação Sherrat Bay.

Figura 2. Área de estudo. **A)** Localização da Península Melville. **B)** Empacotamento do Grupo Moby Dick. **C)** Geologia da Península Melville; A-D Seções e sítios fossilíferos.

A sucessão vertical de facies da Formação Cape Melville, que pode alcançar 200m de espessura, configura dois tipos de ciclos sedimentares granodecrescentes ascendentes, respectivamente, nas porções inferior e superior da unidade (Perinotto *et al.*, 2003):

a) O primeiro inicia-se por duas camadas decimétricas de diamictito bioclástico silto-arenoso cinza-escuro, estratificado, contendo clastos de litologias exóticas, milimétricos a métricos, muito facetados e estriados de provável origem glacigênica. Sucedem-se camadas

métricas de arenitos finos a grossos, de matriz silto-argilosa, cinza-escuro, que, verticalmente passam para litologias silto-argilosas. O ambiente de deposição é interpretado como dominado por processos de tração, associadamente à decantação de finos e queda de detritos a partir de *icebergs*.

b) Ciclos da metade superior iniciam-se com camadas areníticas que recobrem erosivamente pelitos do topo da seqüência inferior, incorporando clastos silto-argilosos centimétricos. Mais superiormente, encontra-se um complexo de folhelhos negros fossilíferos com finas intercalações de siltito e marga, com a presença de clastos caídos de granulometria variada provenientes do continente antártico. A maioria destes seixos é resultante do retrabalhamento das lâminas basálticas depositadas anteriormente (Birkenmajer, 1982a, 1984, 1996; Troedson e Riding, 2002). Nessas porções superiores, as quais também correspondem ao topo da península, os fósseis são encontrados em maior abundância.

Estas litofácies contém numerosa e diversificada fauna de invertebrados marinhos. Na base dos ciclos intercala-se fina camada (até 3cm) de arenito médio/grosso, cinza-creme, carbonático, com microclastos argilosos, horizontalmente bioturbado, interpretada como *hardground*, gerado em fase de reduzido suprimento terrígeno à bacia deposicional (*starved basin*).

De acordo com Birkenmajer (1982a), o caráter dos sedimentos da Formação Cape Melville e de sua fauna apontam para um ambiente de águas rasas e de baixa energia. Dentre as evidências desse tipo de ambiente, citam-se: a presença de clastos de granulometria fina; falta ou escassez de marcas onduladas (*rippling*) e estratificação cruzada; presença de numerosos icnofósseis de associações de águas marinhas rasas (tubos de caranguejos, freqüentemente preenchidos com seus habitantes e presas) extremamente bem preservados; conchas de bivalves normalmente articuladas fechadas e freqüentemente em posição de vida; e ausência de sinais de fragmentação nas conchas.

3.2 IDADE DA FORMAÇÃO CAPE MELVILLE

Diversos estudos foram realizados em busca da determinação da idade da Formação Cape Melville, sobretudo das camadas mais superiores. A datação absoluta dos diques andesíticos e basálticos que atravessam a sucessão sedimentar da Formação Cape Melville pelo método potássio-argônio (K-Ar) sugere idade aproximada de 23 Ma, equivalente ao período Mioceno Inferior como limite mínimo de idade para as camadas mais inferiores da formação (Birkenmajer, 1988; Birkenmajer *et al.*, 1988), e de cerca de 20 Ma para o limite

superior (Birkenmajer, 1985). Essa idade é corroborada pelos estudos palinológicos (Troedson e Riding, 2002) e micropaleontológicos (Birkenmajer e Luczkowska, 1987) realizados para os sedimentos da formação.

3.3 PALEONTOLOGIA DA FORMAÇÃO CAPE MELVILLE

Muito embora as camadas inferiores da Formação Cape Melville apresentem sedimentos fossilíferos, estes são encontrados em maior abundância nas porções superiores, sobretudo nos folhelhos. Tal abundância de fósseis caracteriza os depósitos glácio-marinhos da Formação Cape Melville como uma das biotas miocênicas mais significativas em toda a Antártica (Gazdzicki, 2003). Dentre os invertebrados encontram-se poliquetos (Szaniawski e Wrona, 1987), briozoários, braquiópodes (Biernat *et al.*, 1985), gastrópodes (Karczewski, 1987), ostrácodes (Blaszyk, 1987), crustáceos (Förster *et al.*, 1987), corais (Roniewicz e Morycowa, 1987), equinóides (Jesionek-Szymańska, 1987) e bivalves (Anelli *et al.* 2006).

Existem ainda belemnites cretácicos reciclados e nanoplânctons calcários (e.g. Birkenmajer, 1982a, 1984, 1996; Birkenmajer *et al.*, 1983, 1987; Förster *et al.*, 1987; Troedson e Riding, 2002; Bitner e Crame, 2002).

Sete espécies de bivalves, incluindo seis novos táxons foram recentemente descritos para a Formação Cape Melville (Anelli *et al.*, 2006), os quais incluem representante das famílias Nuculidae, *Ennucula frigida*, *E. musculosa*; Malletiidae, *Neilo (Neilo) rongelii*; Sareptidae, *Yoldia peninsularis*; Limopsisidae, *Limopsis psimolis*; Hiatellidae, *Panopea (Panopea)* cf. *P. regularis* Ortmann e; Periplomatidae, *Periploma acuta* (ANEXO B).

Embora um grande número de invertebrados marinhos tenha sido reconhecido nos sedimentos da Formação Cape Melville apenas breves estudos tafonômicos envolvendo organismos isolados como belemnites cretácicos reciclados (Birkenmajer, 1987), breves citações tafonômicas dos cnidários atribuídos ao gênero *Flabellum* (Roniewicz e Morycowa, 1987) e comentários tafonômicos gerais da fauna (Birkenmajer, 1984, Förster *et al.*, 1987) existem disponíveis na literatura.

É nesse contexto que se insere a abordagem tafonômica para as concentrações de invertebrados marinhos fósseis da Formação Cape Melville, iniciada em 2003 com a caracterização tafonômica da concentração de núcúlídeos da referida formação (Casati *et al.* 2003).

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos no presente estudo incluem: a) A **análise qualitativa** das seções levantadas e das concentrações fossilíferas, objetivando a descrição geológica das seções e a descrição dos táxons, sua orientação na matriz, seu grau de seleção e sua qualidade de preservação; b) A **análise quantitativa** das concentrações fossilíferas, demonstrando em números absolutos e relativos os táxons encontrados, o estudo de suas assinaturas tafonômicas e a análise da distribuição da frequência de tamanho; c) A **análise multivariada** das seções levantadas e das concentrações fossilíferas, reunindo grupos mais semelhantes em termos taxonômicos e tafonômicos pela Análise de Cluster e; d) A **análise morfofuncional** dos bivalves, determinando a sua provável velocidade de escavação baseada na relação entre a obesidade da concha (altura/largura) e o seu alongamento (comprimento/altura).

4.1 ANÁLISE QUALITATIVA

Seção Pingüineira (Camadas 1 e 2)

A Seção Pingüineira (Figura 1, PRS), medida na extremidade SE da Península Melville, não apresenta muita variedade litológica, sendo representada inteiramente por variações entre os termos granulométricos siltito e arenito fino.

O primeiro metro da base é constituído por arenito fino, de coloração cinza, mal selecionado, matriz siltosa, afossilífero, contendo grãos médios e clastos dispersos, apresentando granodecrescência ascendente.

É recoberto por cerca de 3,5m de siltito argiloso, cinza escuro, aparentemente maciço, com fração de arenito muito fino e clastos dispersos na matriz. Fósseis são raros ocorrendo poucos espécimes de braquiópodes na base e de belemnites no topo do intervalo.

Em contato brusco, sobrepõe-se 1,5m de uma unidade granodecrescente ascendente constituída por arenito fino/muito fino a siltito, de coloração cinza, contendo grânulos e clastos dispersos. Neste intervalo configura-se o primeiro nível fossilífero estudado na Seção PRS, de aproximadamente 40cm de espessura, chamado de Camada 1 (PRS-C1), a qual é composta predominantemente por restos de moluscos bivalves onde destacam-se restos do bivalve depositívoro escavador da infauna rasa *Ennucula musculosa* preservados

predominantemente com as valvas articuladas fechadas e orientados caoticamente em relação ao plano de acamamento.

Outros bivalves são representados por 1) Bivalves indeterminados cujos padrões de articulação e orientação assemelham-se fortemente aos de *E. musculosa* descritos acima e 2) por restos do bivalve depositívoro escavador da infauna rasa *Yoldia peninsularis* preservado predominantemente com as valvas articuladas fechadas, porém orientado predominantemente com o plano de comissura concordante em relação ao plano de acamamento, diferentemente dos táxons descritos acima.

Além dos bivalves, a Camada 1 é composta subsidiariamente por gastrópodes, braquiópodes, icnofósseis (tubos horizontais preenchidos por sedimento) e um único espécime do coral escleractíneo *Flabellum rariseptatum* autor (Roniewicz e Morycowa, 1987).

Superiormente, desenvolve-se um intervalo de aproximadamente 4,6m de arenito fino a muito fino, com pouca matriz argilosa, de coloração cinza-creme, contendo grânulos e clastos dispersos. Junto à base do intervalo, um segundo nível fossilífero, distinto do anterior, foi identificado e chamado de Camada 2 (PRS-C2). Esta camada também é composta predominantemente por restos de moluscos bivalves onde destacam-se restos do bivalve depositívoro escavador da infauna rasa *Yoldia peninsularis* preservados predominantemente com as valvas articuladas fechadas e orientados preferencialmente com o plano de comissura concordante em relação ao plano de acamamento, da mesma maneira que o mesmo táxon na Camada 1.

Outros táxons são representados por gastrópodes e raros bivalves indeterminados e um único exemplar de icnofóssil (tubo horizontal preenchido por sedimento).

Em ambas as camadas os bioclastos encontram-se dispersos na matriz com exceção de algumas pequenas concentrações de bivalves nukulídeos muito próximos uns aos outros na Camada 1. Estes, assim como os outros bivalves das duas camadas da Seção PRS, exibem baixo grau de seleção granulométrica entre os bioclastos, nenhum sinal de fragmentação, abrasão, incrustação ou bioerosão.

A seção é completada por cerca de 2,0m de arenito médio, mal selecionado, de coloração cinza, maciço, que grada para arenito fino/muito fino, cinza escuro, por vezes argiloso.

Seção Hard Ground

A seção Hard Ground (Figura 1, HGS) foi medida próxima da face SW do platô da Península de Melville, iniciando-se no leito de um córrego de água de degelo denominado informalmente Bivalve Creek, e estendendo-se por cerca de 114m ao longo de um aclave de 5° de inclinação. A seção colunar (**e**) a partir da distância caminhada na superfície (**d**) foi calculada através da fórmula $e = d \cdot \text{sen } 5^\circ$, tendo sido assim obtidas as espessuras reais no empilhamento sedimentar.

Os 80cm basais são constituídos por siltitos areno-argilosos, cinza escuros, com clastos dispersos de dimensões milimétricas até 5cm segundo o eixo maior, constituídos de litologias exóticas, com leve fissilidade horizontal. Em contato brusco sobre o siltito sobrepõe-se um arenito médio, mal selecionado, com grânulos dispersos de diversas litologias, cor creme, fraturado, muito rico em fósseis, compondo o horizonte fossilífero estudado na Seção HGS. Associado a esse contato brusco ocorrem algumas marcas de sola e o arenito subjacente contém fragmentos do siltito inferior (*clay galls*). Para o topo do intervalo, o arenito grada para siltito argiloso, finamente laminado a maciço, que é recoberto discordantemente por camada de 15cm de arenito médio, matriz lamítica, com cimento carbonático, contendo clastos arredondados de litologias exóticas, inclusive de siltito subjacente.

Com respeito aos bivalves, esta seção é bastante semelhante à Camada 1 da Seção Pingüineira, tanto na composição taxonômica como na composição tafonômica, apresentando predominantemente, restos do bivalve depositívoro escavador da infauna rasa *Ennucula frigida* preservados preferencialmente com as valvas articuladas fechadas e orientados caoticamente em relação ao plano de acamamento, subsidiários bivalves indeterminados preservados preferencialmente com as valvas desarticuladas e orientados com o plano de comissura concordante ao acamamento e restos do bivalve depositívoro escavador da infauna rasa *Y. peninsularis* também preservados preferencialmente com as valvas desarticuladas, porém orientados com o plano de comissura oblíquo em relação ao acamamento. A Seção ainda conta com a presença de poucos restos dos bivalves suspensívoros escavadores da infauna profunda *Periploma acuta* e da infauna rasa *Limopsis psimolis* preservados com as valvas articuladas fechadas e orientados com o plano de comissura concordante em relação ao plano de acamamento.

Outros táxons são representados por restos bastante representativos de corais (*F. rariseptatum*), gastrópodes, crustáceos homolodromiídeos da espécie *Antarctodromia inflata*

Föster (Föster *et al.*, 1987) e icnofósseis (tubos verticais preenchidos por fragmentos de concha) atribuídos à atividade destes caranguejos.

Os bioclastos encontram-se dispersos na matriz, novamente com exceção de algumas pequenas concentrações de bivalves nuculídeos muito próximos uns aos outros. Estes apresentam-se caoticamente orientados, conforme dito acima, enquanto que os corais, gastrópodes e caranguejos encontram-se preferencialmente concordantes em relação ao plano de acamamento. Os bivalves exibem baixo grau de seleção granulométrica. Os corais apresentam alguma fragmentação, localizada principalmente em sua extremidade proximal, diferentemente de todos os demais bioclastos que praticamente não apresentam qualquer sinal de fragmentação ou abrasão, e alto índice de articulação, com exceção de alguns poucos bivalves desarticulados, não apresentando, porém, preferência na preservação de uma determinada valva.

Uma feição característica desta seção é a presença de bioclastos (apenas alguns bivalves nuculídeos e corais) total ou parcialmente piritizados.

Sobrepoë-se a esta camada um intervalo de arenito médio moderadamente selecionado contendo clastos de argilito escuro, cimento carbonático, localmente deformado, a partir de onde apresenta gradação normal para siltito/argilito cinza escuro. Segue uma camada decimétrica de arenito médio com clastos, marcas de sola, carbonático, cor cinza, bioturbado horizontalmente. Esta camada é recoberta por um intervalo de arenito fino, matriz siltosa-argilosa, cor cinza escuro, apresentando grande concentração de clastos centimétricos junto à base. É recoberto, através do contato brusco discordante, por arenito fino contendo grânulos e clastos mal selecionados e níveis irregulares e entrecortantes de arenito médio a grosso que gradam para siltitos/argilitos de cor mais clara quando alterados.

Este intervalo é recoberto, através de contato brusco, por intercalação de arenito fino a médio, rico em clastos milimétricos, carbonático, de cor cinza a creme. É superposto por siltitos arenosos associados a concentrações de seixos e *boulders* de litologias exóticas. No sentido acendente e por cerca de 2m desaparece a concentração de clastos e, localmente, os siltitos exibem características de diamictitos. Após este intervalo siltoso/diamictítico, recorre um nível de concentração de clastos recoberto por uma sucessão de aproximadamente 4m de siltito arenoso, aparentemente maciço, de coloração cinza, contendo clastos de litologias exóticas, fossilífero.

Seção Chaminé

Situada a sudeste da Seção Hard Ground, a Seção Chaminé (Figura 1, CS) foi levantada ao longo de uma extensão lateral de 130m e permitiu reconstituir o empilhamento estratigráfico de aproximadamente 15m de sedimentitos da parte superior da Formação Cape Melville.

A primeira unidade identificável na base da seção corresponde a intervalos sobrepostos de aproximadamente 40cm de espessura individual, constituídas por diamictitos de coloração cinza escura, de matriz areno-siltosa, contendo clastos milimétricos a centimétricos de litologias exóticas e leve estratificação horizontal descontínua. Contém raros fósseis de gastrópodes e é afetado por fraturas subverticais.

É recoberto por um intervalo de aproximadamente 1,8m de arenito fino, silto argiloso, contendo clastos milimétricos dispersos. Apresenta gradação normal para siltitos arenosos finos, de coloração cinza escura, contendo clastos de litologias exóticas e fósseis de belemnites. O intenso fraturamento que afeta o intervalo empresta um aspecto fortemente empastilhado às exposições na superfície.

Segue, em contato brusco, uma sucessão de 4m de siltitos arenosos semelhantes aos subjacentes. Intercalam-se várias lentes compostas por arenitos médios a grossos contendo grânulos e clastos de litologias exóticas. Essa sucessão é recoberta, através de contato brusco por aproximadamente 80cm de diamictito de matriz areno-siltosa, com clastos variando de grânulos a matacões, alguns deles facetados e estriados. Algumas camadas de arenito grosso se intercalam no topo do diamictito.

Essa sucessão é recoberta por 4m de siltito arenoso, cinza claro, apresentando leve fissilidade horizontal. A base desse intervalo apresenta clastos dispersos, tubos de caranguejos e, possivelmente, estruturas do tipo ondulas assimétricas (*ripples*) que controlam o fraturamento da rocha, produzindo placas com convexidade voltada para baixo. Os dois metros superiores são caracterizados por intercalações de camadas de arenito médio contendo clastos milimétricos dispersos.

A seção é sobreposta por cerca de 3m de siltito arenoso, bem selecionado, pouco micáceo com alguns grânulos dispersos e estruturas sedimentares primárias do tipo ondulas assimétricas. Contém esporádicas intercalações lenticulares de arenito grosso conglomerático e rica concentração de fósseis na base do intervalo, composta predominantemente por restos de moluscos bivalves e por caranguejos. O grupo mais representativo é composto por restos do bivalve suspensívoro escavador da infauna profunda *Neilo (Neilo) rongelii* preservados

predominantemente com as valvas desarticuladas e orientados preferencialmente com o plano de comissura concordante em relação ao plano de acamamento. Outros bivalves indeterminados com os mesmos padrões de desarticulação e orientação que *Neilo (N.) rongelli* também ocorrem em abundância, seguidos de restos do crustáceo *Antarctidromia inflata*, preservados preferencialmente concordantes em relação ao plano de acamamento.

A seção é composta também por restos do bivalve escavador da infauna profunda *Panopea (Panopea)* cf. *Panopea regularis* preservados preferencialmente com as valvas articuladas fechadas e orientados com o plano de comissura perpendicular em relação ao plano de acamamento, e restos de apenas um único espécime de *Yoldia peninsularis* preservado com as valvas desarticuladas, orientado obliquamente em relação ao acamamento.

Ainda ocorrem restos mais raros de corais (*F. rariseptatum*) e gastrópodes.

De um modo geral, os bioclastos encontram-se dispersos na matriz e estão orientados preferencialmente concordantes em relação ao plano de acamamento, com exceção de *Panopea (Panopea)* cf. *Panopea regularis*. O grau de seleção granulométrica é baixo, não havendo sinais de fragmentação ou abrasão, porém com elevado índice de desarticulação, com exceção, novamente, de *Panopea (Panopea)* cf. *Panopea regularis*, com quase todos os indivíduos articulados fechados. Não existem sinais de incrustação ou bioerosão e a seção apresenta boa qualidade de preservação.

Seção Lava Crag

A Seção Lava Crag (Figura 1, LCS), medida no extremo nordeste do platô da península de Melville, corresponde a uma sucessão sedimentar de 13,5m de espessura, constituída, predominantemente, por arenitos finos/muito finos de matriz lamítica, contendo clastos caídos dispersos, ricamente fossilífera.

A seção inicia-se com 2,7m de siltito arenoso, coloração acinzentada, tenuamente estratificado e com seleção regular, localmente exibindo evidências de deformações intraformação. A 80cm da base do intervalo desenvolve-se um nível de concentração de grânulos compostos por litologias exóticas (granitos, gnaisses, quartzitos), subarredondados e mal selecionados. Seguem 3,1m de arenitos idem aos anteriores, porém contendo clastos caídos de dimensões milimétricas a centimétricas, de litologias exóticas, dispersos na matriz arenosa. No terço superior deste intervalo intercalam-se dois níveis de grânulos semelhantes ao ocorrente na base da seção. Superiormente, os arenitos finos/muito finos, siltosos, são

recobertos em contato brusco e erosivo, por uma camada de arenito médio a grosso, mal selecionado, aparentemente maciço, de coloração cinza amarelada.

Recobrimdo esta camada sobrepõe-se, em contato brusco, um intervalo de siltito arenoso, de 7,7m de espessura, semelhante ao anterior, contendo clastos caídos e um nível exibindo deformações intraformação no terço inferior.

Na base desta última camada foi identificado um nível fossilífero de cerca de 30 a 40cm de espessura e extensão lateral de 150m. Os táxons mais representativos, assim como nas outras seções, são os bivalves, porém nesta seção, bivalves indeterminados apresentam-se em maior número, com uma diferença mínima do segundo mais representativo táxon, restos do bivalve escavador da infauna profunda *Neilo (Neilo) rongelii* preservados desarticulados e orientados preferencialmente com o plano de comissura concordante em relação ao plano de acamamento. Outros táxons presentes são restos do crustáceo *Antarctdromia inflata* e icnofósseis.

Os bioclastos encontram-se dispersos na matriz e exibindo os mesmos padrões de orientação, seleção e índice de desarticulação que os apresentados na Seção Lava Crag, ou seja, preferencialmente com o plano de comissura concordante em relação ao plano de acamamento, baixo grau de seleção granulométrico e elevado índice de desarticulação. Não existem sinais de fragmentação ou abrasão, bem como incrustação e bioerosão.

4.2 ANÁLISE QUANTITATIVA

Dados relativos a um total de 534 espécimes foram obtidos na Formação Cape Melville (Quadro 1). Como observado no Quadro 1, as seções PRS e HGS apresentam dados bastante representativos (N=224 e N=201, respectivamente), mas as seções CS e LCS são representadas por apenas 69 e 40 espécimes, respectivamente. Da mesma maneira, as variáveis diferem em quantidade de uma seção para outra devido aos valores ausentes e à variação no modo de preservação ao longo das seções.

Baseado no trabalho de Simões e Kowalewski (1998a), as análises quantitativas neste trabalho incluem: 1) Composição faunística e ecológica; 2) Tafonomia e; 3) Distribuição da frequência de tamanho.

Quadro 1. Abundâncias Absolutas e Relativas dos táxons e icnofósseis da Formação Cape Melville.

	Total		PRS				HGS		CS		LCS	
			Camada 1		Camada 2							
Táxon	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
<i>Ennucula frigida</i>	130	24	0	0	0	0	130	66	0	0	0	0
<i>Yoldia peninsularis</i>	100	20	14	10	76	84	9	4	1	2	0	0
<i>Ennucula musculosa</i>	91	17	91	69	0	0	0	0	0	0	0	0
Bivalves indeterminados	83	16	21	16	5	6	22	11	17	25	18	45
<i>Neilo (Neilo) rongelii</i>	39	7	0	0	0	0	0	0	22	32	17	43
Corais	29	5	1	1	0	0	25	12	3	4	0	0
Caranguejos	21	4	0	0	0	0	4	2	14	20	3	8
Gastropodes	20	4	3	2	8	9	7	3	2	3	0	0
<i>Panopea (Panopea) cf. P. regularis</i>	10	2	0	0	0	0	0	0	10	14	0	0
Tubo	5	1	2	1	1	1	0	0	0	0	2	4
Braquiópodes	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Periploma acuta</i>	2	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
<i>Limopsis psimolis</i>	2	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
TOTAL	534	100	134	100	90	100	201	100	69	100	40	100

4.2.1 Composição faunística e ecológica

A composição taxonômica da Formação Cape Melville apresenta baixa diversidade faunística, sendo os moluscos bivalves seus principais componentes. Estes constituem um total de 457 espécimes, representando 86% de todos os táxons coletados nas quatro seções estudadas. Outros táxons são representados por corais, caranguejos, gastrópodes, icnofósseis e braquiópodes (Figura 3).

Nas figuras a seguir, a quantidade absoluta de cada táxon está representada entre parênteses, sua representação relativa está junto ao gráfico e a somatória total, dentro do gráfico.

Figura 3. Composição taxonômica total e icnofósseis encontrados nas quatro seções levantadas no topo da Formação Cape Melville.

A distribuição desses táxons varia ao longo das quatro seções levantadas. No entanto, uma característica conspícua, é o predomínio de restos de moluscos bivalves (Figura 4).

Figura 4. Distribuição taxonômica total e icnofósseis em cada seção da Formação Cape Melville.

Nas quatro seções, entre os bivalves, *E. frigida* é o mais abundante, seguido de *Y. peninsularis* e *E. musculosa*. Outros bivalves são representados, do mais numeroso para o menos numeroso, por bivalves indeterminados, *N. (N.) rongelii* e *P. (P.) cf. P. regularis*. A Figura 5 representa graficamente a distribuição absoluta e relativa desses bioclastos nas quatro seções da Formação Cape Melville e a Figura 6 mostra a distribuição absoluta e relativa das guildas (=agrupamentos de espécies que exploram a mesma classe de recursos ambientais de uma maneira similar, Aberhan, 1994) identificadas na referida formação.

Figura 5. Bivalves identificados nas quatro seções da Formação Cape Melville.

Figura 6. Guildas identificadas nas quatro seções da Formação Cape Melville. Legenda: **DIR** = Depositívoro da Infauna Rasa; **Indeterm.** = indeterminado; **SIP** = Suspensívoro da Infauna Profunda; **SIR** = Suspensívoro da Infauna Rasa (modificado de Aberhan, 1994).

A figura 7 mostra a distribuição dos bivalves (coluna da esquerda) e das suas respectivas guildas (coluna da direita) nas quatro seções da Formação Cape Melville, onde nota-se uma variação na composição ao longo das seções.

Figura 7. Distribuição dos bivalves em cada seção da Formação Cape Melville (lado esquerdo) e sua distribuição em guildas (lado direito). Legenda: **DIR** = Depositívoro da Infauna Rasa; **SIP** = Suspensívoro da Infauna Profunda; **SIR** = Suspensívoro da Infauna Rasa (modificado de Aberhan, 1994).

Como observado na Figura 7 e no Quadro 1, todas as seções da Formação Cape Melville são compostas por bivalves indeterminados, os quais correspondem a **16%** de todos os táxons estudados da Formação Cape Melville. Na Seção PRS-C1, este grupo corresponde à **16%**, na Seção PRS-C2, à **6%**, na Seção HGS, à **11%**; na Seção CS à **25%** e na Seção LCS à **44%**. Estatisticamente, as quatro seções da Formação Cape Melville **diferem entre si** quando analisada a distribuição dos bivalves indeterminados ($G = 35,47$; g.l. = 4; $p = 0,0000$) (Woolf, 1957).

A Seção PRS é a única que aparentemente apresenta duas camadas fossilíferas distintas. Por este motivo, optou-se por analisar estatisticamente se há diferença significativa entre PRS-C1 e PRS-C2. Assim, ao analisar os táxons mais abundantes presentes em ambas (*Yoldia peninsularis* e bivalves indeterminados), notou-se que estas **são estatisticamente diferentes entre si** ($G = 38,80$; g.l. = 1; $p < 0,0001$).

Por outro lado, ao analisar os táxons mais abundantes presentes nas Seções CS e LCS (*Neilo (N.) rongelii* e bivalves indeterminados), percebeu-se que estas duas seções **não são estatisticamente diferentes entre si** ($G = 0,46$; g.l. = 1; $p = 0,4976$). O mesmo resultado é obtido quando se compara apenas a distribuição de *Neilo (N.) rongelii* nestas duas seções, isto é, pela composição taxonômica, as duas seções estas **não diferem estatisticamente entre si** ($G = 1,20$; g.l. = 1; $p = 0,2733$).

4.2.2 Tafonomia

A análise tafonômica tratada no presente estudo concentra-se principalmente nos bivalves, uma vez que estes representam os táxons mais expressivos, possibilitando um estudo mais acurado, principalmente no que diz respeito aos testes estatísticos. Tal estudo trata de duas variáveis: desarticulação e orientação em corte (=seção) e em planta (=azimutal), uma vez que, outras assinaturas tafonômicas (incrustação, bioerosão, fragmentação) não estavam presentes nos bioclastos.

Um total de 430 espécimes foi analisado quanto ao grau de desarticulação. Para esta variável, três modos de ocorrência foram observados: conchas articuladas fechadas, conchas articuladas abertas (=butterflied) (Allmon, 1985; Torello e Simões, 1993; Torello e Simões, 1994) e conchas desarticuladas.

A Seção PRS (em ambas as camadas) e a Seção HGS apresentaram um padrão semelhante quanto à desarticulação: a maioria dos bioclastos foi preservada com as valvas **articuladas fechadas** (N=166, 83% e N=123, 84%, respectivamente). De modo semelhante, as seções CS e LCS apresentam uma distribuição parecida entre si, porém, neste caso, a maioria dos bioclastos foi preservada com as valvas **desarticuladas** (N=35, 70% e N=32, 94%, respectivamente) (Figura 8).

Como o grau de desarticulação “Butterflied” apresenta somente 3 indivíduos de *Y. peninsularis* na Seção PRS-C2, optou-se por entender este parâmetro como “bioclasto desarticulado” para a realização dos testes estatísticos.

A análise da distribuição dos graus de desarticulação, “Desarticulada” e “Articulada Fechada”, mostrou que estes **diferem estatisticamente entre os bivalves** ($G = 175,79$; g.l. = 5; $p = 0,0000$), e **também entre as Seções** da Formação Cape Melville ($G = 154,98$; g.l. = 4; $p = 0,0000$).

Uma vez que as Seções PRS (em ambas as camadas) e HGS apresentam, aparentemente, um padrão muito semelhante (com a maioria dos bioclastos articulados fechados), bem como as seções CS e LCS (dessa vez, com a maioria dos bioclastos desarticulados), optou-se por fazer a comparação estatística entre essas seções. Foi observado que as variáveis “Desarticulada” e “Articulada Fechada” **diferem estatisticamente entre as Seções PRS camada 1 e 2, HGS**, ($G = 21,72$; g.l. = 2; $p = 0,0000$) e **também entre as Seções CS e LCS** ($G = 8,32$; g.l. = 2; $p = 0,0022$).

Figura 8. Gráfico de barras comparando a desarticulação dos bioclastos nas quatro seções da Formação Cape Melville, entre as seções e entre os táxons.

Por apresentarem conchas com as valvas preferencialmente desarticuladas, determinou-se a proporção de valvas direitas e esquerdas dos táxons mais abundantes (*Neilo* (*N.*) *rongelii* e bivalves indeterminados) encontrada nas Seções CS e LCS (Figura 9). Na Seção CS, foram preservadas preferencialmente valvas direitas (N=15, 58%), enquanto que na Seção LCS foram preservadas preferencialmente valvas esquerdas (N=13, 48%). No entanto, esta diferença não é significativa entre os táxons e nem entre as Seções.

Figura 9. Razões das valvas direitas e esquerdas de *Neilo* (*N.*) *rongelii* e bivalves indeterminados das Seções Chaminé e Lava Crag da Formação Cape Melville.

Para a variável orientação em corte (=seção), foi observado em um total de 426 espécimes. Foram analisadas conchas nas seguintes posições: **Concordante** (plano de comissura ou eixo maior horizontal em relação ao plano de acamamento), **Oblíquo** (plano de comissura ou eixo maior diagonal em relação ao plano de acamamento) e **Perpendicular** (plano de comissura ou eixo maior vertical em relação ao plano de acamamento) (Kidwell e Bosence, 1991).

A Camada 1 da Seção PRS e a Seção HGS apresentam uma distribuição randômica de orientação dos bioclastos (quase um terço de cada posição em cada seção). A Camada 2 da Seção PRS, e as Seções CS e LCS apresentam uma predominância de conchas orientadas concordantemente em relação ao acamamento (respectivamente, n=46, 63%, n=46, 54% e n=26, 76%) (Figura 10).

Figura 10. Gráfico de barras comparando a orientação dos bioclastos nas quatro seções da Formação Cape Melville, entre as seções e entre os táxons.

Além dos bivalves, o coral *F. rariseptatum* na Seção HGS também foi preservado preferencialmente com orientação caótica na matriz, embora com predomínio de formas dispostas horizontalmente (concordante) (Figura 11).

Figura 11. Orientação do coral *F. rariseptatum* na Seção Hard Ground da Formação Cape Melville.

De modo semelhante à variável Desarticulação, a Orientação dos bioclastos, nos modos “Perpendicular”, “Oblíquo” e “Concordante”, **difere estatisticamente entre os bivalves** ($G = 89,28$; g.l. = 5; $p = 0,0000$) e **também entre as Seções** da Formação Cape Melville ($G = 39,43$; g.l. = 4; $p = 0,0000$).

Por apresentarem um padrão aparentemente semelhante entre PRS-C1 e HGS (distribuição randômica) e, entre PRS-C2, CS e LCS (maioria concordante), optou-se por fazer comparações estatísticas entre essas seções. Foi observado que a orientação das conchas (Perpendicular, Oblíqua e Concordante) **não difere estatisticamente entre as Seções PRS-C1 e HGS**, ($G = 1,31$; g.l. = 1; $p = 0,259721$), mas a orientação (maioria concordante) **difere estatisticamente entre as Seções PRS camada 2, CS e LCS**, ($G = 9,91$; g.l. = 2; $p = 0,0174616$).

Pelo fato das Seções CS e LCS apresentarem um alto índice de conchas desarticuladas, foi gerado um gráfico da orientação destes bioclastos, no qual foi explicitada, para as conchas orientadas concordantemente ao acamamento, a disposição da convexidade das valvas (voltadas para cima ou para baixo). Notadamente, em ambas as seções, as conchas desarticuladas orientadas concordantemente em relação ao acamamento apresentaram-se, em sua maioria, dispostas com a convexidade voltada para baixo ($N=13$, 62% e $N=19$, 77%, respectivamente, Figura 12), onde observou-se que **não há diferença estatística entre os**

táxons (*N. rongelii* da Seção CS e bivalves indeterminados da Seção LCS), ($G = 1,33$; g.l. = 1; $p = 0,2488$) **e nem entre as Seções** (CS e LCS), ($G = 1,25$; g.l. = 1; $p = 0,2636$).

Essa metodologia, no entanto, não foi adotada para a Seção PRS-C2, pois, embora também apresentasse a maioria dos bioclastos disposta concordantemente em relação ao acamamento, as conchas encontravam-se, na sua maioria, preservadas com as valvas articuladas fechadas (Figura 8).

Figura 12. Gráfico de barras comparando a orientação dos bivalves desarticulados nas seções Chaminé e Lava Crag com detalhe na disposição da convexidade das conchas orientadas concordantemente ao acamamento.

Para a variável orientação em planta (=azimutal), foi observado um total de 188 espécimes. Foram analisados bioclastos posicionados concordantemente em relação ao plano de acamamento e anotado o azimute do lado maior (extremidade posterior ou anterior) no caso dos bivalves e a posição da extremidade distal (abertura) no caso dos corais.

Os táxons analisados em cada seção da Formação Cape Melville e suas devidas proporções são apresentados a seguir (Figura 13): **PRS-C1**: *E. musculosa* (n=24), *Y. peninsularis* (n=9) e bivalves indeterminados (n=4); **PRS-C2**: *Y. peninsularis* (n=43) e bivalves indeterminados (n=2); **HGS**: *E. frigida* (n=46), *F. rariseptatum* (n=10), bivalves indeterminados (n=7) e gastrópodes (n=3); **CS**: *N. (N.) rongelii* (n=11) e bivalves indeterminados (n=11); **LCS**: *N. (N.) rongelii* (n=12) e bivalves indeterminados (n=6).

Figura 13. Orientação azimutal dos bioclastos dispostos concordantemente em relação ao plano de acamamento nas quatro seções da Formação Cape Melville

4.2.3 Distribuição da frequência de tamanho

O tamanho da concha de bivalves foi obtido para 457 espécimes, sendo o comprimento das conchas a medida utilizada na análise de distribuição de frequência de tamanho. Apenas *Ennucula musculosa* na Seção PRS-C1, *Yoldia peninsularis* na Seção PRS-C2 e *Ennucula frigida* na Seção HGS apresentaram-se em quantidade suficiente para uma rigorosa análise de distribuição de frequência de tamanho ($n = 77$; $n = 73$; $n = 120$, respectivamente). *Neilo (N.) rongelii* na Seção CS e *Neilo (N.) rongelii* na seção LCS, apesar de serem os mais abundantes para cada seção, não apresentaram uma amostragem considerável ($n = 21$; $n = 17$, respectivamente), isto é, acima de 30 indivíduos (Campos, 1979). Ainda assim, gráficos foram plotados para esta espécie nas seções CS e LCS.

Os gráficos de distribuição de frequência de tamanho de *E. musculosa* (12-23 mm), *Y. peninsularis* (6-31 mm), *E. frigida* (6-24 mm), *N. (N.) rongelii*, na Seção CS (30-64 mm) e *N. (N.) rongelii* em LCS (20-59 mm), são apresentados a seguir (Figura 14).

Figura 14. Comparação entre a distribuição da frequência de tamanho dos bivalves mais abundantes (acima) e os menos abundantes (abaixo) nas quatro seções da Formação Cape Melville.

Apesar dos núcúlídeos *Ennucula musculosa* e *Ennucula frigida* serem similares em tamanho, a média dos comprimentos das conchas de *E. musculosa* (média = 19,95) é maior que as médias dos comprimentos de *E. frigida* (média = 15,47), a diferença entre as duas médias é **4,48**. A **diferença é estatisticamente significativa** usando o teste de **Wilcoxon**, (Wilc = -8.714053, $p = 0,000$).

Por outro lado a **média do comprimento** de *N. (N.) rongelii* na Seção CS (média = 49,48) e de *N. (N.) rongelii* na Seção LCS (média = 45,63), **não são estatisticamente diferentes** usando o teste **Wilcoxon**, (Wilc = -0,3378, $p = 0,7355$) e a diferença entre suas médias é de **3,85**.

Pelo teste de normalidade de **Kolmogorov-Smirnov** a variável comprimento de *Y. peninsularis*, *E. frigida*, e *N. (N.) rongelii* da Seção CS **mostrou-se normal** (Kol-Smir = 0,069, $p > 0,15$, $N = 73$); (Kol-Smir = 0,042, $p > 0,15$, $N = 120$); (Kol-Smir = 0,092, $p > 0,15$, $N = 21$). As variáveis que **não apresentam normalidade** são o comprimento de *E. musculosa* (Kol-Smir = 0,158, $p < 0,01$, $N = 77$) e o comprimento de *N. (N.) rongelii* da Seção LCS (Kol-Smir = 0,309, $p < 0,01$, $N = 16$). Vale ressaltar que *N. (N.) rongelii* na Seção CS não possui número de observações suficientes para a suposição de normalidade para a variável comprimento ($N < 30$). A **distribuição de *E. frigida* é a mais simétrica** de todas e, ***N. (N.) rongelii* na seção LCS apresenta bi-modalidade**, ou seja, têm-se dois grupos distintos um entre 20 e 30 mm e o outro entre 50 e 60 mm, sendo o último grupo o com maiores frequências.

4.3 ANÁLISE MULTIVARIADA

No caso de uma única variável ter sido medida em espécimes de uma amostra, a análise dos dados é feita através da estatística univariada. No entanto, se valores de diversas variáveis forem obtidas em cada um dos espécimes dessa mesma amostra (ou pontos amostrais), as técnicas para a análise desses dados são fornecidas pela **estatística multivariada** (Siegel, 1975).

A estatística multivariada foi aqui escolhida, pois a matriz original possui 5 amostras e dezoito variáveis (Quadro 2).

Quadro 2. Matriz original para a análise multivariada possuindo cinco amostras e dezoito variáveis (valores em porcentagem)

	PRS-C1	PRS-C2	HGS	CS	LCS
Composição taxonômica					
<i>Ennucula frigida</i>	0	0	78,8	0	0
<i>Yoldia peninsularis</i>	11,1	93,8	5,5	2	0
<i>Ennucula musculosa</i>	72,2	0	0	0	0
Bivalves indeterminados	16,7	6,2	13,3	34	51,8
<i>Neilo (Neilo) rongelii</i>	0	0	0	44	48,6
<i>Panopea (P.) cf. P. regularis</i>	0	0	0	20	0
<i>Periploma acuta</i>	0	0	1,2	0	0
<i>Limopsis psimolis</i>	0	0	1,2	0	0
TOTAL	100	100	100	100	100
Guilda					
Depositívoro da infauna rasa	100	100	98	0	3,03
Suspensívoro da infauna profunda	0	0	1	100	96,97
Suspensívoro da infauna rasa	0	0	1	0	0
TOTAL	100	100	100	100	100
Orientação					
Perpendicular	37,2	9,4	31,8	26,1	11,8
Oblíquo	28,1	28,4	27,1	19,6	11,8
Concordante	34,7	62,2	41,1	54,3	76,4
TOTAL	100	100	100	100	100
Desarticulação					
Butterflied	0	3,8	0	0	0
Desarticulada	6,6	27,8	15,2	70	94,1
Articulada Fechada	93,4	68,4	84,8	30	5,9
TOTAL	100	100	100	100	100

Existem vários métodos de análise multivariada com finalidades bem diversas entre si, portanto, cabe ao pesquisador saber o que se pretende afirmar a respeito dos dados (Moita Neto, 2004). No presente estudo a Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*) foi empregada, pois permite o estabelecimento de grupos naturais de indivíduos/locais (Modo Q) ou de variáveis (Modo R) (Valentin, 1995). Para tal procedimento, foi utilizado o coeficiente de Distância Euclidiana e o método de agrupamento pela associação média não ponderada (*Unweighted Pair-Group Method Average* – UPGMA) (Sneath e Sokal, 1973) foi utilizado como função de ligação (Nunes, 2003).

O dendrograma resultante da aplicação da análise de agrupamento no **modo Q**, ou seja, entre amostras sugere a existência de **dois grupos distintos** (Figura 15). O primeiro grupo é constituído pelas Seções PRS-C1, PRS-C2 e HGS, as quais apresentam uma grande quantidade dos bivalves da infauna *E. musculosa*, *Y. peninsularis*, *E. frigida* e bivalves indeterminados. Este grupo pode ser subdividido em **dois subgrupos**. O **primeiro subgrupo** é constituído pelas Seções PRS-C1 e HGS apresentando predominantemente o bivalve depositívoro escavador da infauna rasa *E. frigida*, bivalves indeterminados, restos do bivalve depositívoro escavador da infauna rasa *Y. peninsularis* e dos suspensívoros escavadores da infauna profunda *Periploma acuta* e da infauna rasa *Limopsis psimolis*. O **segundo grupo** é composto pelas Seções CS e LCS onde há predominância do bivalve suspensívoro escavador da infauna profunda *N. (N.) rongelii*.

Quando se analisa apenas a composição taxonômica (Figura 16), as Seções são bastante similares, destacando-se o grupo das Seções CS e LCS.

Figura 15. Análise de agrupamento entre as Seções (modo Q).

Figura 16. Análise de agrupamento entre as Seções (Modo Q), considerando apenas a composição taxonômica.

A análise de agrupamento no **modo R**, ou seja, entre variáveis (Figura 17) revela uma distinção entre **dois grupos**: **um** constituído pelas variáveis “infauna rasa” e “articulada fechada”, e o **outro grupo** constituído pelas demais variáveis. Quando se exclui as variáveis “guildas” (Figura 18) observam-se dois grupos bem distintos **um grupo** em destaque “articulada fechada” e o **outro** com as demais variáveis, sendo este segundo grupo subdividido em dois **subgrupos** bem distintos: **um** em relação a variável desarticulada e à orientação concordante e o **outro** com as demais variáveis.

Figura 17. Análise de agrupamento entre as variáveis (modo R).

Figura 18. Análise de agrupamento entre as variáveis (modo R), excluindo as variáveis Guildas.

Com a finalidade de realizar novos testes, optou-se por retirar da matriz original, a composição taxonômica, como visto no Quadro 3. Esta metodologia foi adotada pois, segundo Kidwell *et al.* (2001), faz-se necessária a ampliação do alvo de estudo para além de espécies ou gêneros, com o intuito de maximizar o valor das tafofácies nas investigações paleontológicas e sedimentológicas/estratigráficas. É nesse contexto que se justifica uma análise realizada com base nas guildas preservadas, implicando, dessa forma, em respostas semelhantes à atuação dos processos sedimentares. Os dendrogramas gerados a partir dessa nova matriz (sem os táxons), como se pode observar abaixo, no entanto, apresentaram-se bastante semelhantes aos da matriz original.

Quadro 3. Matriz modificada para a análise multivariada possuindo cinco amostras e oito variáveis (valores em porcentagem)

	PRS-C1	PRS-C2	HGS	CS	LCS
Guilda					
Depositívoro da infauna rasa	100	100	98	0	3,03
Suspensívoro da infauna profunda	0	0	1	100	96,97
Suspensívoro da infauna rasa	0	0	1	0	0
TOTAL	100	100	100	100	100
Orientação					
Perpendicular	37,2	9,4	31,8	26,1	11,8
Oblíquo	28,1	28,4	27,1	19,6	11,8
Concordante	34,7	62,2	41,1	54,3	76,4
TOTAL	100	100	100	100	100
Desarticulação					
Butterflied	0	3,8	0	0	0
Desarticulada	6,6	27,8	15,2	70	94,1
Articulada Fechada	93,4	68,4	84,8	30	5,9
TOTAL	100	100	100	100	100

Essa segunda matriz possui 5 amostras e oito variáveis. O dendrograma resultante da aplicação da análise de agrupamento no **modo Q**, ou seja, entre amostras sugere a existência de dois grupos distintos (Figura 19), da mesma forma que o dendrograma gerado quando se aplica os táxons (veja Figura 15). O **primeiro grupo** é constituído pelas Seções PRS-C1, PRS-C2 e HGS, as quais apresentam uma grande quantidade do bivalve escavador da infauna rasa *E. musculosa*, bivalves indeterminados, o escavador da infauna rasa *Y. peninsularis* e pelo bivalve escavador da infauna rasa *E. frigida*. Este grupo pode ser subdividido em dois grupos menores. O **primeiro subgrupo** é constituído pelas Seções PRS-C1 e HGS apresentando dominantemente o bivalve escavador da infauna rasa *E. frigida*, bivalves indeterminados, o escavador da infauna rasa *Y. peninsularis* e os escavadores da infauna profunda *Periploma acuta* e da infauna rasa *Limopsis psimolis*. O **segundo grupo**, composto pelas Seções CS e LCS, é dominado pelo bivalve escavador da infauna profunda *N. (N.) rongelii*. Os mesmos grupos foram formados a partir das assinaturas tafonômicas (Figura 20), no entanto, estes diferem dos analisados apenas para a composição taxonômica (veja Figura 16), formando primeiramente um grupo entre as Seções PRS-C1 e HGS.

Figura 19. Análise de agrupamento entre as Seções (modo Q)

Figura 20. Análise de agrupamento entre as Seções, considerando apenas as assinaturas tafonômicas

A análise de agrupamento no **modo R**, ou seja, entre variáveis (Figura 21) revela uma distinção entre **dois grupos**: **um** constituído pelas variáveis “depositívoro da infauna rasa” e “suspensívoro da infauna profunda”, com respeito às guildas e, **o outro grupo**, constituído pelas demais variáveis tafonômicas. Sendo este segundo grupo subdividido em **dois subgrupos**: **um** em relação às variáveis “desarticulação” (desarticulada e articulada fechada), e “orientação Concordante” e **o outro** subgrupo é em relação as variáveis “orientação (Oblíquo e Perpendicular)” e a “desarticulação Butterfield”.

Figura 21: Análise de agrupamento entre as variáveis (modo R)

4.4 ANÁLISE MORFOFUNCIONAL

A análise morfofuncional envolveu: **1)** O estudo das características anatômicas externas das conchas, com ênfase na relação entre a forma da concha e a velocidade de escavação (Stanley, 1970) e; **2)** A análise das características internas da concha, caracterizando a relação entre as cicatrizes musculares, em especial a linha palial e o seio palial (quando presente) e a profundidade de enterramento do animal, em vida, no substrato.

De acordo com Stanley (1970), a redução do tamanho da concha de bivalves escavadores é uma das mais adaptações mais comuns para a redução do tempo de escavação. No entanto, para espécies depositívoras, o tamanho tem pouca importância relativamente à eficiência de escavação. Trueman *et al.* (1966), por sua vez, concluíram que a penetração no substrato é mais fácil dentre espécies delgadas.

A fim de inferir a provável velocidade de escavação dos bivalves da Formação Cape Melville, foi utilizado um diagrama de formado pela obesidade (altura/largura) e alongamento (comprimento/altura) das conchas (Stanley, 1970) (Fig. 22). Geralmente, escavadores lentos concentram-se na região onde a forma da concha é mais esférica enquanto que escavadores mais rápidos possuem um formato mais cilíndrico, laminar ou discóide. Uma linha empírica desenhada no diagrama separa a região de conchas esféricas de escavadores lentos da região de escavadores rápidos.

Dentre os bivalves analisados, *E. frigida*, *E. musculosa* e *N. (N.) rongelii* foram considerados **escavadores lentos**, uma vez que tratam-se de conchas com baixo índice de obesidade (índice menor que 1,49; concha inflada) (Ghilardi, 1999).

Por outro lado, os bivalves *Y. peninsularis*, *Limopsis psimolis* e *Periploma acuta*, que são formas mais comprimidas lateralmente, foram considerados **escavadores rápidos**.

Apesar de *P. (P.)* cf. *P. regularis* possuir o formato da concha mais cilíndrico, sua movimentação no substrato é praticamente nula (Kondo, 1990), uma vez que este animal possui hábito de vida escavador da infauna profunda.

Figura 22. Velocidade de escavação estimada para os bivalves da Formação Cape Melville (de acordo com Stanley, 1970).

A análise da linha palial, ou seja, o local de inserção da margem do manto na concha, dos bivalves estudados da Formação Cape Melville, revelou a existência de bivalves assifonados, apresentando a linha palial íntegra, ou seja, sem a presença de seio palial, e bivalves sifonados, com a linha palial apresentando seio palial.

Dentre os bivalves assifonados da Formação Cape Melville, citam-se *Ennucula frigida*, *Ennucula musculosa* e *Limposis psimolis* (Figura 22A), indicando hábito escavador raso. Bivalves escavadores que não possuem sifões inalantes e exalantes comumente vivem muito próximos à superfície do substrato, pois necessitam manter-se em contato com a coluna d'água para manter as trocas gasosas (Stanley, 1970, Sanchez, 1992).

Os bivalves *Yoldia peninsularis*, *Neilo (N.) rongelii*, *Periploma acuta* e *Panopea (P.)* cf. *P. regularis*, apresentaram a linha palial sinuada (Figura 22B), indicativa hábito escavador mais profundo. Apesar de também apresentar o seio palial pronunciado, *Yoldia peninsularis* é um depositívoro que vive e se alimenta próximo à superfície (Rhoads, 1963, Rhoads e Young, 1970, Bender e Davies, 1984) (esta informação será discutida com maiores detalhes no item seguinte – 5.1 PALEOAUTOECOLOGIA). O tamanho do seio palial varia conforme o tamanho do sifão e, o que pode indicar a profundidade de enterramento do animal em vida (Stanley, 1970). Dentre os táxons analisados, *Panopea (P.)* cf. *P. regularis* é o que possui o maior seio palial, o que indica uma maior profundidade de enterramento do animal em vida no substrato.

Figura 23. Morfologia interna dos bivalves analisados da Formação Cape Melville: **A)** Bivalves com linha palial íntegra, da esquerda para a direita, *Ennucula frigida*, *E. musculosa* e *Limopsis psimolis*, moldes internos preservados e desenhos esquemáticos; **B)** Bivalves com linha palial apresentando seio palial, da esquerda para a direita, *Yoldia peninsularis*, *Neilo (N.) rongelii*, *Periploma acuta* e *Panopea (P.)* cf. *P. regularis*, moldes internos preservados e desenhos esquemáticos. Legenda: **LP**, Linha Palial; **SP**, Seio Palial (de acordo com Anelli *et al.*, 2006).

5. DISCUSSÃO

5.1 PALEOAUTOECOLOGIA

De acordo com Brenchley e Harper (1998), Autoecologia é o estudo dos modos de vida dos organismos e sua relação com o ambiente. Ela se foca na análise morfofuncional, ou seja, na correspondência entre morfologia e as estratégias de vida adotadas pelos organismos nos diferentes habitats.

Seu correspondente na Paleontologia é a Paleoautoecologia (Mendes, 1988) que, segundo Levinton (1984), é definida como o estudo das interações entre uma espécie com seu meio biótico e abiótico, envolvendo a reconstrução do antigo ambiente de vida do organismo e o entendimento de como a morfologia, o comportamento e outros atributos de um animal extinto, influenciaram em sua sobrevivência e reprodução, face ao ambiente reconstruído.

Conforme Alexander *et al.* (1993), um componente essencial da interpretação paleoecológica de organismos bentônicos é a compreensão da sua relação com o substrato, a qual pode determinar sua distribuição, abundância e hábitos de vida.

Abaixo, portanto, encontram-se as inferências acerca do modo de vida dos bivalves e demais táxons encontrados na Formação Cape Melville.

5.1.1 Bivalves

Devido à sua íntima relação com o substrato e abundância no registro fossilífero, bivalves são um dos grupos mais utilizados nas análises paleoecológicas (Kidwell, 1986; Kidwell e Holland, 1991; Simões e Kowalewski, 1998a; Simões *et al.*, 1998b, Sanchez, 1992, Ghilardi e Simões, 2000), sendo úteis, portanto, para o reconhecimento de fatores ambientais tais como o tipo de substrato, energia do meio, grau de oxigenação e taxa de sedimentação (Brett e Baird, 1986; Sanchez, 1992; Kondo, 1997, 1998; Ghilardi e Simões, 2000).

Tanto animais vivos quanto mortos estão sujeitos às mudanças ocorridas no regime sedimentar, o que torna possível a identificação dos agentes responsáveis por tais alterações (Ghilardi e Simões, 2000).

No presente estudo, os modos de vida inferidos dos bivalves foram interpretados com base na classificação proposta por Stanley (1970), de acordo com os seguintes parâmetros: 1) mecanismo de alimentação (depositívoro e suspensívoro); 2) modo de locomoção ou fixação

(fixo por bisso, cimentado, reclinado, natante, escavador, perfurador e aninhador) e; 3) posição de vida (epifauna, semi-infauna e infauna) (Stanley, 1970; Beu e Maxwell, 1990).

Segundo Ghilardi e Simões (2000), a posição de vida pode ser determinada com base na relação entre a concha articulada, a posição em vida do plano de comissura com respeito à interface água/ sedimento (inferido pela autoecologia), e a posição do plano de comissura em relação ao plano de acamamento do sedimento. Há a necessidade do exame de espécimes orientados, especialmente com relação ao topo e base do nível ou da concentração fossilífera. Isso implica no conhecimento prévio do modo de vida dos bivalves fossilizados.

De acordo com Stanley (1970), nas espécies escavadoras, a posição de vida é normalmente a posição de alimentação assumida pelo animal ao final do período de escavação. No entanto, Kondo (1997, 1998) reconheceu diferenças entre a posição de vida (plano de comissura em ângulo próximo a ou reto) e a posição de alimentação (plano de comissura ligeiramente inclinado, cerca de 40°).

Conforme Kondo (1997), quando há um aporte muito grande de sedimentos, bivalves infaunais de fundo mole lidam com soterramento rápido através de migração vertical para cima a fim de manter sua posição relativa ao novo nível da interface água/sedimento. Quando essa estratégia é adotada, porém não bem sucedida, bivalves podem ser preservados em sua orientação de fuga, normalmente invertida com relação à orientação ereta de exploração (Kranz, 1974).

O reconhecimento de preservação da posição de vida dos fósseis é, conforme Kondo (1990), a única evidência definitiva que mostra soterramento *in situ*. A observação da posição de vida é, portanto, importante nas análises tafonômicas e paleoecológicas.

A **profundidade de enterramento** da concha no substrato, como sugerido por Fürsich (1980) e Kondo (1987), é o fator determinante para a preservação da posição de vida. Essa profundidade é medida como a distância da superfície do sedimento até o ponto mais superficial da concha enterrada. Escavadores da infauna rasa, em geral, não ultrapassam 2 a 3cm de profundidade (Stanley, 1970).

A compreensão do modo de vida, dentre outros fatores, permite, portanto, uma identificação mais precisa dos processos que resultaram na morte dos organismos uma vez que o modo de vida afeta significativamente as assinaturas tafonômicas de conchas de animais vivos e mortos (Lazo, 2004). Organismos infaunais, por exemplo, possuem um maior potencial de fossilização que organismos epifaunais e, conseqüentemente, estão mais sujeitos à mistura temporal (Kidwell, 1982; Fürsich e Aberhan, 1990; Flessa *et al.*, 1993; Meldahl *et al.*, 1997; Lazo, 2004).

Na Formação Cape Melville, por se tratar na maioria dos casos de espécies novas, não existe na literatura qualquer citação a respeito do modo de vida desses organismos. Assim, foi realizada uma análise comparativa baseando-se no parentesco entre os táxons encontrados e espécies congêneras já estudadas.

A análise do modo de vida dos bivalves da Formação Cape Melville se deu, portanto, a partir do estudo de bivalves que apresentam a morfologia da concha muito semelhante às conchas aqui tratadas, uma vez que a forma da concha está intimamente relacionada com o modo de vida de bivalves (Stanley, 1970), e também de espécies aparentadas, pois a interpretação do modo de vida de bivalves fósseis não se baseia apenas na análise morfofuncional, mas também na comparação de espécies viventes aparentadas (Anelli *et al.*, 1998). Conforme Beu e Maxwell (1990), inferências sobre hábitos alimentares de moluscos fósseis são inevitavelmente baseadas no que se conhece sobre seus parentes viventes.

Todos os bivalves encontrados na Formação Cape Melville são escavadores, pertencendo à infauna rasa (*E. frigida* e *E. musculosa*, *Y. peninsularis* e *L. psimolis*) ou à infauna profunda (*Panopea* (*P.*) cf. *P. regularis*, *Neilo* (*N.*) *rongelii* e *P. acuta*) (Aberhan, 1994). Com exceção de *Ennucula* e *Yoldia*, que são depositívoros, todos os demais táxons são suspensívoros de superfície ou subsuperfície.

Abaixo, discute-se portanto, a interpretação do modo de vida dos bivalves coletados na Formação Cape Melville, sintetizada, em seguida, no Quadro 4.

Ennucula frigida e *E. musculosa*

Dentre os nukulídeos, *Nucula* é o gênero mais estudado com respeito ao modo de vida, e diversas espécies viventes são bem conhecidas sob este aspecto, como por exemplo, *Nucula proxima* (Say) (Rhoads e Young, 1970; Stanley, 1970; Alexander *et al.*, 1993), *N. sulcata* (Bronn) (Alexander *et al.*, 1993) e *N. tenuis* (Montagu) (Alexander *et al.*, 1993).

Indivíduos do gênero *Nucula* são representantes da **infauna rasa**, encontrados em águas rasas e calmas, e classificados como **escavadores de substrato fino** e, portanto, modificadores do substrato, alterando a sua consistência próximo à superfície (Cox, 1969; Stanley, 1970; Sanchez 1992).

Alexander *et al.* (1993), em seu estudo sobre habilidade de escavação de alguns bivalves em relação ao substrato, classificou *Nucula* como “**Especialista do Substrato**”, ou seja, escavam rapidamente em uma faixa granulométrica muito restrita, sendo comuns em lama ou areia.

A restrição de especialistas tanto para lama ou areia aplica-se a espécies congênicas: *N. tenuis* é restrita à areia na Baía de São Francisco, enquanto *N. proxima* prefere substratos lamosos em Long Island Sound (Franz, 1976) e ricos em matéria orgânica em Quisset Harbor, Cape Cod e Massachusetts (Stanley, 1970). Em uma situação de soterramento rápido, *N. proxima* pode escapar de mais de meio metro de lama, mas sua habilidade de escape é significativamente reduzida quando soterrado por areia fina (Kranz, 1974).

Quando se analisa a morfologia ligada ao modo de vida de escavadores livres, dois aspectos devem ser levados em consideração: 1) o processo ou série de movimentos necessários para completar seu enterramento e, 2) a profundidade que pode ser alcançada dentro do substrato. No primeiro caso, há uma evidente relação entre o formato da concha e as séries de movimentos. Em *Nucula*, cuja concha é arredondada, são necessários, **extensos movimentos rotacionais** (= movimentos de balanço, Stanley, 1970) para frente e para trás em um eixo perpendicular ao plano sagital (Stanley, 1970, Sanchez, 1992) (Figura 24).

Figura 24. Movimento de balanço da concha e direção de penetração relativos ao alongamento da concha.

O animal locomove-se com dificuldade sobre a superfície. Uma vez enterrado, gira sua parte anterior para cima no sentido de assumir uma posição que permita migração lateral sob o sedimento. Essa posição final é, conforme Yonge (1939), a **posição de vida atribuída para o gênero (com o plano de comissura vertical e a margem dorsal voltada para cima ou para o lado, mas nunca para baixo)**. No entanto, *N. proxima*, no curso de seus subseqüentes movimentos, mostra uma considerável variação a partir da sua orientação inicial (Figura 25).

Figura 25. Radiografias de *Nucula proxima* no sedimento, mostrando movimentação e variadas posições de vida em 15min. (1), 30min. (2) e 26h. (3) a partir do momento em que os animais foram colocados no aquário (extraído de Stanley, 1970).

Conforme Sanchez (1992), a ausência de sífões inalantes e exalantes, faz com que o animal **viva próximo à superfície** para manter a troca gasosa (Figura 26).

Quanto ao modo de alimentação, nukulídeos são **depositívoros**, restritos ao modo de vida de se enterrar para a procura de alimento. *N. proxima* move-se continuamente no substrato no sentido de procurar alimento, porém vagarosamente e de maneira esporádica (Stanley, 1970).

Baseando-se nas informações mencionadas acima e na análise morfofuncional, os nukulídeos encontrados em Cape Melville, *E. frigida* e *E. musculosa*, são classificados como **depositívoros escavadores lentos da infauna rasa**, vivendo com o plano de comissura **perpendicular em relação ao plano de acamamento**. Provavelmente, estes organismos habitavam fundos lodosos ou outros de baixa granulometria, ricos em matéria orgânica, uma vez que não possuem sífões e obtém seu alimento através de seus palpos labiais.

Figura 26. Posicionamento de *N. proxima* e *Y. limatula* de 2 a 3cm abaixo da interface água/sedimento (de acordo com Rhoads e Young, 1970).

Yoldia peninsularis

Assim como para *Ennucula*, a descrição do modo de vida de *Yoldia peninsularis* se deu a partir de espécies congêneras. Neste caso, a analogia se faz com a espécie vivente *Yoldia limatula* (Say).

Yoldia limatula é sempre encontrada em **fundos não consolidados de fácies silt-argilosas**. Seu alcance de **profundidade é 5-100 metros**, mas ocasionalmente pode ser encontrado a **500m** (Bender e Davis, 1984, Rhoads e Young, 1970).

Segundo Stanley (1970), bivalves que possuem conchas muito alongadas normalmente apresentam pouco ou nenhum movimento de balanço para a penetração no substrato (conforme observado na figura 24, acima). Isto ocorre porque a ampla região dorsal e ventral desses organismos virtualmente impossibilita a sua movimentação no substrato. Neste caso, ao se enterrar, a concha se confronta com o substrato através de uma pequena área, o que permite sua penetração sem excessiva movimentação.

Apesar de possuir as características mencionadas acima, *Yoldia limatula* é a única espécie alongada, estudada por Stanley (1970), que **emprega um grande ângulo de rotação para penetrar o substrato**. Como o seu pé emerge a partir de uma posição oblíqua ao eixo maior da concha (Figura 27), a penetração no substrato se dá em um baixo ângulo, menor que 45°, fazendo com que o animal enfrente grande resistência ao penetrar o substrato.

Por outro lado, conforme demonstrado no experimento de Bender e Davis (1984), *Y. limatula*, quando colocada na superfície do sedimento, desenvolve **escavação rápida** e logo passa a se alimentar. A extensão e contração do pé permite que o animal se enterre de **1 a 8cm de profundidade**, dependendo do tamanho do animal (Bender e Davis, 1984).

Figura 27. Emerção do pé de *Yoldia limatula* a partir de uma região oblíqua ao eixo maior da concha (de acordo com Stanley, 1970).

Conforme Bender e Davies (1984), aspectos sobre a biologia de *Y. limatula* foi primeiramente estudada por Drew (1899) e Kellogg (1915), os quais descreveram o animal como um **depositívoro de superfície**, apresentando o animal enterrado no sedimento com quase um terço da extremidade posterior exposta acima da superfície do substrato (Figura 28).

Figura 28. *Yoldia limatula* enterrada no sedimento com quase um terço da extremidade posterior exposta acima da superfície do sedimento (de acordo com Rhoads, 1963).

Em um estudo sobre retrabalhamento de sedimento por *Y. limatula*, Rhoads (1963) determinou que o animal como um depositívoro seletivo é capaz de transportar grandes quantidades de sedimento da subsuperfície para a superfície na forma de fezes e pseudofezes, expelidas através do sifão exalante. Rhoads e Young (1970) notaram que a posição de

alimentação de *Y. limatula* era 2-3cm abaixo da interfae água/sedimento, indicando que o animal é um **depositívoro de subsuperfície** (Figura 26, acima).

O sítio e mecanismo de alimentação de depositívoros têm algumas implicações em processos-chave como, por exemplo, no transporte de oxigênio para os bentos, na regeneração de nutrientes ou captura de poluentes por sedimentos (Bender e Davis, 1984), além de resultar na exclusão de muitos suspensívoros da infauna e da epifauna sésil.

Conforme Bender e Davis (1984), apesar do mecanismo de alimentação de subsuperfície ser predominante, ocasionalmente, *Y. limatula* pode alimentar-se na superfície do sedimento. Isso muitas vezes ocorre pelo colapso da superfície do sedimento quando a subsuperfície se instabiliza devido a grande quantidade de cavidades geradas pelo próprio animal através da ação dos palpos labiais (Figura 29).

Figura 29. **A.** *Yoldia limatula* se alimentando em subsuperfície; **B.** *Yoldia limatula* se alimentando na superfície (extraído de Bender e Davis, 1984).

Baseando-se nas informações mencionadas acima e na análise morfofuncional, *Y. peninsularis* da Formação Cape Melville é classificada como **depositívora de superfície e subsuperfície escavadora rápida da infauna rasa**, vivendo com o plano de comissura da concha **perpendicular relativamente ao plano de acamamento**. Assim como *Ennucula*, estes organismos habitavam fundos lodosos, e ricos em matéria orgânica, apesar da presença de sifões, e obtém seu alimento através de seus palpos labiais.

Panopea (Panopea) cf. P. regularis

Indivíduos do gênero *Panopea* são **suspensívoros escavadores da infauna profunda** e, como tais, geralmente são **preservados em sua posição de vida**, expressa pela preservação na **orientação vertical no substrato e com as valvas articuladas fechadas** (ver exemplo de *Panopea japonica* em Kondo, 1987, 1990, 1998, Figura 30).

Por apresentarem migração para partes mais superiores do substrato quando são submetidos à eventos de grande aporte sedimentar, estes bivalves são bem adaptados à rápida deposição e/ou erosão (Kondo, 1998).

Ainda conforme este autor, *Panopea* ocorre em uma **ampla abrangência granulométrica**, desde lama em bacias protegidas até cascalho em ambientes de alta energia.

A maioria (N=9, 90%) dos indivíduos da espécie *Panopea (Panopea) cf. P. regularis*, encontrada na Formação Cape Melville, foi preservada em posição de vida conforme a descrição acima, esperada para o gênero, isto é, posicionados verticalmente no substrato com as valvas articuladas fechadas. A condição suspensívora pode ser observada através das grandes aberturas nas valvas para a passagem do sifão.

Em vista das informações acima e com base na análise morfofuncional, o bivalve *Panopea (Panopea) cf. P. regularis* da Formação Cape Melville é aqui classificado como **suspensívoro escavador da infauna profunda**, cuja orientação, em vida é **com o eixo maior da concha perpendicular em relação ao plano de acamamento**.

Figura 30. Posição de vida de *Panopea japonica* (de acordo com Kondo, 1990).

Neilo (Neilo) rongelii

De acordo com Marshall (1978), espécies recentes do gênero *Neilo* ocorrem invariavelmente em **substratos lamosos e pouco oxigenados**, resultantes da oxidação de material terrígeno por meio de bactérias redutoras de sulfato, como observado para a espécie *Neilo australis australis* na Nova Zelândia. Estes são, conforme o autor, os fatores determinantes que controlam a distribuição de espécies do gênero *Neilo*.

Embora na literatura existam poucos trabalhos evidenciando o modo de vida de *Neilo*, as inferências atribuídas à *Neilo (Neilo) rongelii* neste trabalho, foram baseadas na análise da morfologia funcional. A presença de um seio palial moderadamente pronunciado é indicativa de que este táxon possui um sifão relativamente extenso, o que indica provável hábito de vida infaunal profundo. A presença de uma ampla margem posterior (margem respiratória), a área por onde o sifão emerge, indica uma provável posição de vida com o eixo de maior comprimento perpendicular relativamente à interface água/substrato.

O bivalve *Neilo (Neilo) rongelii* da Formação Cape Melville é aqui interpretado como **suspensívoro escavador da infauna profunda**, vivendo com o plano de comissura da concha **perpendicular com relação ao plano de acamamento** (Figura 31).

Figura 31. Provável posição de vida de *Neilo (Neilo) rongelii*.

Periploma acuta

De acordo com Bernard (1989) e com Ardila e Díaz (1998), indivíduos recentes da família Periplomatidae estão amplamente distribuídos por regiões ao leste do Oceano Pacífico e a oeste do Oceano Atlântico, e possuem hábito de vida escavador, em ambientes de sedimentos finos.

Assim como para *Neilo*, não existe um amplo registro bibliográfico tratando do modo de vida de *Periploma*. Desta forma, neste trabalho, as inferências sobre o modo de vida de *Periploma acuta* foram baseadas apenas na análise da morfologia funcional da concha.

Periploma acuta da Formação Cape Melville possui seio palial pronunciado, o que é indicativo da presença de um sifão extenso, e portanto de hábito escavador profundo. A presença de uma ampla margem posterior truncada (margem respiratória), assim como *Neilo*, indica uma provável posição de vida vertical em relação à interface água/substrato.

Periploma acuta da Formação Cape Melville é aqui interpretado como **suspensívoro escavador da infauna profunda**, vivendo com o plano de comissura da concha perpendicular com relação à superfície do sedimento (Figura 32).

Figura 32. Provável posição de vida de *Periploma acuta*.

Limopsis psimolis

Segundo Kondo (1989), observações *in situ* de bivalves de águas profundas, particularmente os infaunais, são muito escassas devido à dificuldade de observação. No entanto, o autor relata a sua observação sobre o hábito de vida do limopsídeo vivente *Limopsis tajimae*, coletado na parte nordeste de Suruga Bay, Japão, através do método de *box core* (33cm x 33cm).

Essa espécie distribui-se extensamente nos mares em torno das ilhas japonesas, mas é em Suruga Bay, no **substrato lamoso rico em matéria orgânica** que essa espécie apresenta-se em densas populações.

Muitos dos indivíduos observados em **posição de vida** encontravam-se em sedimento lamoso, com o **plano de comissura aproximadamente horizontal**, logo abaixo da superfície do sedimento (2-3cm abaixo da superfície) (Figura 33). Esse tipo de orientação é comum e conveniente em bivalves não-sifonados como limopsídeos e glycymerídeos, tais como *L. aurita* (Oliver e Allen, 1980) e *Glycymeris pectinata* (Stanley, 1970), uma vez que torna efetivo o hábito suspensívoro, mais que a orientação com a porção posterior voltada para cima como ocorre em muitos bivalves suspensívoros (Kondo, 1989).

Figura 33. Orientação de *Limopsis tajimae* em posição de vida (de acordo com Kondo, 1989).

A orientação com o plano de comissura concordante (horizontal) também foi reconhecido para o limopsídeo *Limopsis psimolis*, encontrado na Formação Cape Melville. Apesar da baixa representatividade ($n = 2$), todos os indivíduos apresentaram esse padrão de posicionamento.

Segundo Kondo (1989), os indivíduos com o plano de comissura horizontal observados por ele, não apresentavam preferência por qual valva estaria voltada para cima, estando, portanto, tanto a valva direita como a valva esquerda. Alguns poucos indivíduos foram encontrados obliquamente ou verticalmente posicionados no substrato, porém, nenhum apresentou a posição vertical com a região posterior voltada para cima, como ocorre em muitos bivalves suspensívoros sifonados preservados em posição de vida. No entanto, *L. loringi* e *L. soboles* se mantêm posicionados aproximadamente verticais, com a porção posterior voltada para cima com mais da metade da concha exposta sobre a superfície do substrato (Kondo, 1987). De acordo com Oliver e Allen (1980), *L. aurita* apresenta orientação vertical em areia fina e orientação horizontal em lama fina. Entretanto, Oliver (1981) apontou que *L. aurita* mostra um comportamento completamente contrário ao apontado anteriormente, ou seja, mantendo uma orientação vertical em substrato lamoso e uma orientação horizontal em areia.

Estes exemplos mostram que limopsídeos, podem assumir diferentes posições de vida dependendo da espécie e do tipo de substrato. Esse tipo de comportamento também é reconhecido em outros bivalves, como por exemplo, *Protothaca (Protothaca) staminea*, que exhibe modo de vida infaunal em lama e modo de vida epifaunal em cascalho (Lazo, 2004).

Ainda conforme Kondo (1989), nenhum indivíduo demonstrou mobilidade no *box core* após a coleta em Suruga Bay, Japão. Observações em laboratório também demonstraram que essa espécie não se movimenta após se enterrar e atingir a posição de vida (mencionada acima), diferente de *L. aurita* (Brocchi) descrita em Oliver e Allen (1980) que se move ativamente. Ainda não está bem esclarecido se essa ausência de movimentação representa um estado natural do animal ou se é causada por distúrbios durante a coleta. No entanto, algumas evidências indicam que o animal se mantém na posição horizontal por um considerável período de tempo: perfurações da concha por poliquetos (tal infestação não ocorreria se o animal mudasse sua posição num curto período de tempo) e fixação sobre a concha pelo pequeno mitilídeo *Modiolus margaritaceus* (Nomura e Hatai), demonstrando que o animal serviu de substrato estável para epibiontes por se manter na mesma posição por um longo período de tempo. Tais assinaturas também foram observadas em *L. psimolis* da Formação Cape Melville, sendo que quase toda a concha apresenta marcas de bioerosão (ANEXO B).

Concentrações fósseis densas de *L. tajimae* são comumente encontradas em alguns estratos Plio-Pleistocênicos na costa pacífica do Japão (Kondo, 1985). Muitas das conchas articuladas fechadas encontram-se orientadas com o plano de comissura aproximadamente horizontal ao plano de acamamento, com os bicos ligeiramente voltados para cima. Apesar de

ser difícil determinar se a orientação horizontal desse animal é sua posição de vida ou uma orientação retrabalhada para uma posição fisicamente mais estável, concentrações densas desses organismos são seguramente consideradas como o **modo de vida gregário** original desses animais. Esta, entretanto, é a única feição, dentre as descritas acima, não observada em *L. psimolis*, uma vez que este bivalve foi encontrado em pequena quantidade (n=2).

Baseando-se nas informações mencionadas acima e na análise morfofuncional, *Limopsis psimolis* da Formação Cape Melville é classificado como **suspensívoro escavador da infauna rasa**, vivendo com o plano de comissura da concha **concordante relativamente à interface água/sedimento**.

Quadro 4. Síntese da interpretação do modo de vida dos bivalves estudados na Formação Cape Melville. Legenda: **DIR** = Depositívoro da Infauna Rasa; **Indeterm.** = indeterminado; **SIP** = Suspensívoro da Infauna Profunda; **SIR** = Suspensívoro da Infauna Rasa.

Espécie	Guilda	Provável Substrato de vida	Litótipo encontrado	Provável Velocidade de escavação	Morfologia
<i>Ennucula frigida</i>	DIR	lama rica em matéria orgânica	argilito	lenta	<i>Ennucula</i> com concha grande, obliquamente obesa; ornamentação das linhas de crescimento finas e pobremente definidas, sobrepostas por corrugações comarginais de crescimento bem definidas.
<i>Ennucula musculosa</i>	DIR	lama rica em matéria orgânica	argilito	lenta	<i>Ennucula</i> com concha grande; inflada; ornamentação externa de costas comarginais irregularmente espaçadas; ausência de lúnula; escudo bem definido em forma de coração.
<i>Yoldia peninsularis</i>	DIR	lama	argilito, arenito	rápida	<i>Yoldia</i> de tamanho médio, com concha fina; Ornamentação externa de rugas e linhas de crescimento comarginais muito finas; margem anterodorsal variando de reta a ligeiramente convexa
<i>Neilo (N.) rongelii</i>	SIP	lama	argilito	rápida	<i>Neilo (N.)</i> com concha grande, muito alongada; número de costas perto de 1,3 por mm na altura mediana; umbos grandes e bem elevados sobre a linha da charneira.
<i>Panopea (P.)</i> cf. <i>P. regularis</i>	SIP	ampla faixa granulométrica desde lama até cascalho	argilito	lenta	Concha de tamanho médio a grande, transversalmente alongada; extremidade anterior arredondada e posterior truncada; descontinuidade comissural anterior e posterior; ondulações concêntricas grossas.
<i>Periploma acuta</i>	SIP	lama	argilito	rápida	<i>Periploma</i> pequena, muito comprimida; região posterior da concha aguda; extremidade anterior do seio palial acuminada.
<i>Limopsis psimolis</i>	SIR	lama rica em matéria orgânica	argilito	rápida	<i>Limopsis</i> com concha grade, espessa, orbicular; Ornamentação externa de incrementos de crescimento espaçadamente irregulares; Cicatriz do músculo adutor fortemente anisomiária.

5.1.2 Demais táxons

As inferências sobre os modos de vida dos demais invertebrados analisados da Formação Cape Melville se concentraram exclusivamente nos corais e caranguejos uma vez que estes possuem taxonomia adequada para este tipo de abordagem.

Flabellum rariseptatum Roniewicz e Moricowa, 1985

Embora corais escleractíneos cretácicos estejam entre os primeiros fósseis descobertos na Antártica (Stolarski e Taviani, 2001), cnidários possuem um registro fóssil relativamente escasso nesse continente (Stolarski e Taviani, 2001).

Os corais pertencentes ao gênero *Flabellum* Lesson, 1931, conhecidos a partir de estratos do Cretáceo Superior da Costa do Pacífico (Califórnia, Estados Unidos), foram descritos pela primeira vez na Antártica em rochas do Oligoceno Inferior da Formação Polonez Cove, Ilha Rei George (Gazdzicki e Stolarski, 1992).

Ainda conforme Gazdzicki e Stolarski, 1992, muito provavelmente tais espécimes possuem ligação com os corais da espécie *Flabellum rariseptatum* Roniewicz e Moricowa (1985), encontrados no Mioceno Inferior das formações Destruction Bay, Formação Cape Melville e Carmem Silva.

De acordo com Stolarski e Taviani (2001), *Flabellum rariseptatum* é provavelmente o mais abundante coral cenozóico da Antártica e da região subantártica, além de ocorrer também na Terra do Fogo, América do Sul (Formação Carmen Silva, Mioceno Inferior).

Seu registro mais antigo ocorre em rochas da Formação Destruction Bay, mas é na sequência glacio-marinha da Formação Cape Melville onde ele se encontra em maior abundância. São encontrados principalmente em litologias lamíticas, as quais incluem também bivalves depositívoros e suspensívoros da infauna, sugerindo, assim, um ambiente de mar aberto, caracterizado por moderado hidrodinamismo e turbidez, e enriquecimento de matéria orgânica (Roniewicz e Morycowa, 1987, Stolarski e Taviani, 2001). No entanto, espécimes orientados caoticamente evidenciaram períodos de turbidez que interromperam subitamente períodos de baixa sedimentação (Birkenmajer, 1982b, 1984, Roniewicz e Morycowa, 1987).

Segundo Roniewicz e Morycowa (1987), indivíduos adultos de *Flabellum rariseptatum* **vivem parcialmente enterrados no sedimento, verticalmente orientados**, sendo que a extremidade proximal funciona como uma âncora (Figura 34). As autoras

determinaram o modo de vida para *F. rariseptatum* como similar ao de *F. impensum* Squires, *F. thouarsii* Milne-Edwards e Haime e *F. areum* Cairns, porém distinto de *F. curvatum* Mosely e *F. flexuosum* Cairns, que em vida posicionam-se deitados sobre o substrato, e de *F. rubrum* (Quoy e Gaimard) que vive fixo ao substrato.

Ainda conforme Roniewicz e Morycowa (1987), a análise da extremidade proximal mostrou que fixação em substrato estável não é um pré-requisito indispensável para o desenvolvimento de *F. rariseptatum*, pois, de trinta espécimes juvenis observados com a placa basal preservada, apenas um foi encontrado em um fragmento de rocha, três na superfície de corais adultos e, o restante, apresentava-se com a placa basal côncava preenchida com sedimento, fazendo com que, durante o seu desenvolvimento, o organismo afundasse no sedimento de acordo com o aumento do seu peso (Roniewicz e Morycowa, 1987).

A distribuição batimétrica de corais ahermatípicos recentes é muito mais controlada pela temperatura da água do fundo oceânico do que pela profundidade (Wells, 1967). De acordo Roniewicz e Morycowa (1987), o coral ahermatípico *Flabellum* é tido como um importante indicador de profundidade. Espécies recentes deste gênero habitam desde águas rasas até mais de 3.000 metros de profundidade.

Ainda conforme Roniewicz e Morycowa (1987), *F. rariseptatum* da Formação Cape Melville assemelha-se morfologicamente à *F. impensum* Squires, o qual alcança profundidades de 46m a 2260m.

Figura 34. Posição de vida do coral *Flabellum rariseptatum* (segundo Roniewicz e Moricowa, 1987).

Antarctidromia inflata Förster, 1985

Caranguejos homolodromiídeos terciários foram descritos pela primeira vez entre 1980 e 1981 (Förster *et al.*, 1985, Förster *et al.*, 1987). Estes fósseis, pertencentes à espécie *Antarctidromia inflata* Förster, e icnofósseis atribuídos à atividade destes organismos, estudados por Förster *et al.* (1987), são provenientes de uma localidade denominada Crab Creek, na Península Melville, Ilha Rei George, distante 2km da seção Hard Ground, aqui estudada, de onde foram coletados caranguejos da mesma espécie.

Os caranguejos estudados em Crab Creek foram encontrados em folhelhos na parte superior da Formação Cape Melville, associados, entre outros táxons, à diatomáceas, radiolários, foraminíferos bentônicos, numerosos corais solitários do gênero *Flabellum*, briozoários, bivalves e gastrópodes (Förster *et al.*, 1987). A maioria dos caranguejos dessa assembléia foi encontrada em **posição de vida, com a parte dorsal voltada para cima, os quelípedes dobrados ventralmente contra a cavidade bucal, e pereópodes em posição de caminhada** (Förster *et al.*, 1987). Alguns, mais bem preservados, encontram-se em concreções calcárias esferoidais e elipsoidais, formadas a partir da decomposição desses animais já dentro do substrato, corroborando o soterramento *in situ*.

A associação dos caranguejos com os icnofósseis tubulares deve indicar que esses animais são restos autóctones ou parautóctones de uma paleocomunidade. A biologia de Homolodromioidea recente é insuficiente para determinar se os icnofósseis são estruturas de moradia onde o animal ocupava ou se serviam simplesmente como refúgio, particularmente durante a ecdise. No entanto, restos numerosos de *Antarctidromia* sem qualquer relação com tais estruturas, bem como a ausência de exúvias sugerem que esses animais devem ter vivido em cavidades semi-permanentes ou que eles eram capazes de se enterrar rapidamente em substrato lamoso para sua proteção, como conhecido atualmente para gêneros de Dromiidae (Förster *et al.*, 1987).

O autor ainda relata que a ocorrência de praticamente todos os estágios de crescimento desses animais, de juvenis a adultos (de 25mm de comprimento a aproximadamente 99mm de comprimento), corrobora a hipótese de se tratarem de restos de uma antiga comunidade preservados no local de vida. Essa última informação é confirmada pela ocorrência, no mesmo plano de acamamento, de corais solitários em posição de vida (Förster *et al.*, 1987).

De acordo com Förster *et al.* (1987), todos os recentes Homolodromioidea habitam preferencialmente substratos lamosos em águas profundas (pelo menos 150m de profundidade).

5.2 GÊNESE DAS CONCENTRAÇÕES FOSSILÍFERAS DA FORMAÇÃO CAPE MELVILLE

Quando soterrados e fossilizados em posição de vida, moluscos bivalves da infauna rasa ficam dispostos perpendicular ou ligeiramente inclinados em relação ao plano de acamamento, representando tafocenoses autóctones, as quais refletem elevação abrupta da taxa de sedimentação, geralmente relacionadas a eventos de tempestades (Aigner *et al.*, 1978, Boyajian e Thayer, 1995, Anelli *et al.*, 1998, Holz e Simões, 2002).

Por outro lado, esqueletos retrabalhados e desarticulados (ou não) podem assumir posições que permitem inferir sobre as condições hidráulicas atuantes na época da deposição (Holz e Simões, 2002).

De acordo com Torello (1994) e com Holz e Simões (2002), a reorientação de bioclastos está diretamente relacionada à energia do meio, à forma e à densidade do bioclasto, e ao hábito de vida do organismo, sendo que organismos da epifauna e da infauna rasa estão mais sujeitos à reorientação que organismos da infauna profunda.

Estudos acerca da reorientação de material bioclástico em ambiente marinho bem como de outros atributos tafonômicos têm sido extensivamente discutidos na literatura e têm-se demonstrado úteis na interpretação do ambiente deposicional e na reconstituição do ambiente de vida dos organismos (Johnson, 1957, Middleton, 1967, Emery, 1968, Clifton e Boggs Jr., 1970, Salazar-Jimenez *et al.*, 1982, Brett e Baird, 1986, Kidwell e Bosence, 1991, Torello, 1994).

O estudo das assinaturas tafonômicas e da biofábrica, bem como da paleoautoecologia foi utilizado na interpretação dos processos que geraram as concentrações fossilíferas identificadas na Formação Cape Melville. Estes dados sugerem que as concentrações fossilíferas analisadas nas quatro seções possuem **estrutura interna simples**, ou seja, apresentam características homogêneas, invariáveis e provavelmente tiveram sua origem em um único evento de deposição (Kidwell *et al.*, 1986; Simões e Torello, 2003).

5.2.1 Seção Pingüineira Camada 1 (PRS-C1)

A figura 35 apresenta uma síntese dos resultados obtidos na Seção Pingüineira Camada 2 que serão discutidos a seguir.

A fauna que compõem o horizonte fossilífero da camada 1 da Seção Pingüineira (Figura 1, PRS) é constituída predominantemente por restos do bivalve *Ennucula musculosa*. Outros táxons são representados por restos do bivalve *Yoldia peninsularis*, bivalves indeterminados, e raros restos de gastrópodes, braquiópodes, icnofósseis e corais (Figura 35A).

A quase totalidade de formas depositóvoras da infauna rasa (N=105, 83%) observadas na seção PRS-C1 da Formação Cape Melville, compostas principalmente por bivalves nukulídeos (Figura 35B, C) é, conforme Aberhan (1994), indicativa de ambientes compostos por substratos finos, ricos em matéria orgânica, onde há pouca circulação de água e gases e um retardamento da oxidação precoce do carbono orgânico.

Ainda de acordo com Aberhan (1994), o registro de depositívoros escavadores da infauna rasa é bem documentado, durante o Mesozóico, em ambientes de substrato fino na plataforma rasa e em ambientes onde o oxigênio é escasso. Este último apresenta baixa diversidade numérica de guildas e baixa diversidade taxonômica, tal qual observado na seção em estudo, pois trata-se de um ambiente de alto estresse, o que também pode explicar a ausência de formas suspensívoras da infauna profunda, como observados nas seções CS e LCS, uma vez que a quantidade de H₂S, neste ambiente, aumenta de acordo com a profundidade, e a grande quantidade de bivalves nukulídeos, que são organismos tolerantes à baixas taxas de oxigênio.

O alto índice de bivalves preservados com as valvas articuladas fechadas (Figura 35D), além da ausência de sinais de fragmentação e abrasão, são indicativos de que não houve grande energia e transporte prolongado durante a gênese deste depósito (Kidwell e Bosence, 1991, Holz e Simões, 2002).

A orientação caótica dos bioclastos na matriz (Figura 35E) corrobora a hipótese de uma assembléia remobilizada, mas que não sofreu um transporte prolongado, uma vez que a ausência de seleção de tamanho observada para *E. musculosa*, cujo táxon é o mais abundante (Figura 28F) é sugestiva de que a assembléia fóssil retrata uma paleocomunidade transportada e redepositada próximo ao local de vida dos organismos e, conforme Nunes (2003) é mais um atributo sugestivo de que a deposição se deu em um ambiente de baixa energia.

Apesar da orientação entre os bivalves (*E. musculosa* e bivalves indeterminados) ser predominantemente caótica, *Y. peninsularis* apresentou um modo de orientação distinto: preferencialmente concordante em relação ao acamamento (Figura 35E), porém com as valvas também articuladas fechadas. Esta feição é indicativa de eventos de redeposição, onde os bioclastos não foram colocados em suspensão, ou sofreram rotação durante o processo de compactação da rocha, ou ainda pode indicar a completa exumação de organismos da infauna, no caso, bivalves escavadores, por correntes tracionais de fundo (Kidwell e Bosence, 1991, Holz e Simões, 2002). Há que se lembrar, conforme Simões e Torello (2003), que bivalves escavadores são exumados apenas quando mortos ou sob o efeito de forte erosão do fundo.

O padrão de reorientação observada nesta assembléia (Figura 35 E, G) pode ser explicado através de uma série de eventos, tais como: fluxo turbulento atuante durante a formação da assembléia fossilífera; fluxos com velocidade inferior àquela necessária para a movimentação dos bioclastos; bioturbação; e deposição rápida por fluxos de alta densidade como, por exemplo, fluxos de lama (Müller, 1979, Kidwell e Bosence, 1991, Holz e Simões, 2002).

Este último fator, no entanto, parece corresponder à explicação mais plausível para este tipo de depósito, uma vez que a presença de bioclastos articulados, bem preservados e pouco selecionados, é indicativa de que o transporte não foi prolongado e/ou não houve alta energia na geração desta assembléia.

Figura 35. Síntese dos resultados obtidos na Seção PRS-C1. **A**, Composição total; **B**, Composição Faunística – Bivalves; **C**, Guilda – Bivalves; **D**, Desarticulação – Bivalves; **E**, Orientação – Bivalves; **F**, Distribuição de Frequência de Tamanho de *E. musculosa*; **G**, Orientação em planta.

5.2.2 Seção Pingüineira Camada 2 (PRS-C2)

A figura 36 apresenta uma síntese dos resultados obtidos na Seção Pingüineira Camada 2 que serão discutidos a seguir.

Acima da camada 1 da Seção Pingüineira encontra-se uma segunda camada (Figura 1, PRS) distinta da anterior, composta por sedimentos de granulometria mais grossa, contendo preferencialmente restos do bivalve *Yoldia peninsularis* e raros gastrópodes, bivalves indeterminados, e um único icnofóssil (Figura 36A, B).

Assim como na camada 1 da seção Pingüineira, a única guilda identificada na camada 2 é composta por organismos depositívoros da infauna rasa (Figura 36C). Novamente, de acordo com Aberhan (1994), assembléias compostas por uma quantidade pequena de guildas e baixa diversidade taxonômica, são indicativas de ambientes de alto estresse, tais como os que apresentam déficit de oxigênio ou salinidade e, o alto índice de depositívoros da infauna rasa, é indicativo de ambientes compostos por substratos finos, ricos em matéria orgânica.

Os restos de *Y. peninsularis* encontram-se preservados, em sua maioria, concordantes em relação ao plano de acamamento com as valvas articuladas fechadas (Figuras 36D, E). Esta informação, no entanto, parece contradizer o fato desta espécie ser considerada um escavador rápido, uma vez que apresenta concha lateralmente comprimida e uma região anterior ampla indicativa da presença de um pé grande (conforme demonstrado nos itens 4.4 ANÁLISE MORFOFUNCIONAL e 5.1 PALEOAUTOECOLOGIA), assim como *Y. limatula* que, segundo Bender e Davis (1984), quando colocada na superfície do sedimento, desenvolve escavação rápida e logo passa a se alimentar,

Contudo, uma interpretação possível, é que o fato do pé emergir a partir de uma posição oblíqua ao eixo maior da concha, interpretação esta tendo como base a anatomia de *Y. limatula* (veja figura 27), faz com que o animal enfrente grande resistência ao penetrar o substrato, empregando um grande ângulo de rotação da concha, o que explica, deste modo, a grande proporção de indivíduos posicionados concordantemente.

A ausência de seleção de tamanho de *Y. peninsularis* (Figura 36F) é indicativa de que a assembléia fóssil retrata uma paleocomunidade transportada e redepositada próximo ao local de vida dos organismos (Boucot, 1953).

Uma particularidade desta camada é a presença de raros bivalves (*Y. peninsularis*) preservados com as valvas articuladas abertas (=butterflied). Segundo Torello e Simões (1994), após a morte de moluscos bivalves, os músculos adutores que mantêm a concha fechada tendem a relaxar devido à sua decomposição, fazendo com que a concha se abra,

porém mantêm-se unida através do ligamento. Esta feição é indicativa de soterramento rápido, mas não instantâneo, por aumento na taxa de sedimentação, normalmente associado a evento de sedimentação episódica.

A presença de um maior número de valvas desarticuladas nesta seção em relação à PRS-C1 (Figura 36D) é interpretada como decorrente do transporte das conchas articuladas abertas conjuntamente às demais conchas articuladas fechadas. Portanto, é possível que os organismos tenham sido exumados por erosão do fundo, sofrido curto transporte lateral, ocasionado possivelmente por correntes de turbidez (Troedson e Riding, 2002), e depositados rapidamente nas proximidades de seu local de vida, o que explicaria a mistura de conchas articuladas fechadas, conchas articuladas abertas e conchas desarticuladas (Torello e Simões, 1993, Torello e Simões, 1994).

A orientação em planta (=azimutal) dos bioclastos orientados concordantemente em relação ao plano de acamamento (Figura 36G), mostrou-se caótica, indicando que após o transporte os bioclastos não ficaram expostos na interface água/sedimento por um período de tempo prolongado e, portanto, sujeitos à reorientação pela ação de correntes.

Desta maneira, admite-se que os bioclastos que constituem a Seção PRS-C2 foram remobilizados e redepositados próximo ao local de vida dos organismos, isto é, abaixo do nível de base de ondas de bom tempo. O transporte lateral foi curto e de energia moderada, suficiente para desarticular parte dos remanescentes de conchas articuladas abertas da paleocomunidade. A ausência de reorientação para a posição de vida dos bivalves é explicada pela morfologia funcional destes organismos.

Figura 36. Síntese dos resultados obtidos na Seção PRS-C2. **A**, Composição total; **B**, Composição Faunística – Bivalves; **C**, Guilda – Bivalves; **D**, Desarticulação – Bivalves; **E**, Orientação – Bivalves; **F**, Distribuição de Frequência de Tamanho de *Y. peninsularis*; **G**, Orientação em planta.

5.2.3 Seção Hard Ground (HGS)

A figura 37 apresenta uma síntese dos resultados obtidos na Seção Hard Ground que serão discutidos a seguir.

A Seção Hard Ground (Figura 1, HGS) é a que apresenta a maior diversidade taxonômica entre as seções estudadas. A fauna é composta predominantemente por restos do bivalve *E. frigida* e pelo coral escleractíneo *Flabellum rariseptatum*. Outros táxons são representados por bivalves indeterminados, *Y. peninsularis*, gastrópodes, o caranguejo *Antarctidromia inflata*, *Periploma acuta* e *Limopsis psimolis* (Figura 37A, B).

Ainda assim, a composição ecológica entre os bivalves desta seção é, da mesma maneira que na Seção PRS, composta predominantemente por depositívoros da infauna rasa (Figura 37C). Existem também raros organismos suspensívoros de suspensívoros da infauna profunda e rasa (N=4, 2%) (*Periploma acuta* e *Limopsis psimolis*, respectivamente), preservados com as valvas articuladas fechadas.

De modo semelhante à Camada 1 da Seção PRS, a Seção HGS apresenta grande representatividade de conchas articuladas fechadas e orientadas caoticamente na matriz não exibindo sinais de fragmentação e abrasão (Figuras 37D, E). Tais feições são indicativas de que também se trata de uma assembléia alóctone, gerada a partir de um evento de baixa energia (Kidwell e Bosence, 1991, Holz e Simões, 2002).

Além dos bivalves, o coral *F. rariseptatum* também foi preservado intacto e caoticamente orientado, embora com predomínio de indivíduos orientados horizontalmente (concordante) indicando remobilização da fauna e redeposição em posição hidrodinamicamente estável, fora da posição de vida (vertical) (Roniewicz e Morycowa, 1987).

Uma feição particular a esta seção é a ocorrência de bioclastos (bivalves e corais) total ou parcialmente piritizados, a qual indica que o soterramento se deu antes da decomposição dos organismos. Geralmente, para que isto ocorra, é necessário que haja um aporte grande de sedimentos, como ocorre nos depósitos de sufocamento, onde os bioclastos são soterrados ainda vivos. No entanto, a concentração fóssil da base da Seção Hard Ground não foi soterrada *in situ*, como esperada para um depósito de sufocamento, mas transportada, uma vez que os bioclastos foram preservados de maneira caótica. Detalhes sobre a presença de bioclastos piritizados na Formação Cape Melville serão mais bem discutidos no item seguinte (5.3 ORGANISMOS PIRITIZADOS COMO INDICADORES DA DINÂMICA SEDIMENTAR).

De modo bastante similar à seção estudada anteriormente (PRS em ambas as camadas), o táxon mais abundante desta seção (*E. frigida*) não sofreu seleção de tamanho (Figura 37F), indicando que trata-se de uma paleocomunidade transportada e redepositada próximo ao local de vida, tendo sofrido um transporte de curta duração, observado nas demais feições tafonômicas (alto índice de valvas articuladas, orientação caótica, boa qualidade de preservação) e permanecido pouco tempo na interface água sedimento (Boucot, 1953).

A orientação em planta (=azimutal) dos bioclastos dispostos concordantemente em relação ao plano de acamamento mostrou-se randômica (Figura 31G), e, segundo Müller (1979), esta feição pode se originar, entre outros fatores, dependendo da plasticidade do fluxo da massa de sedimento.

Desta maneira, admite-se que os bioclastos que constituem a Seção HGS foram remobilizados e redepositados, de maneira caótica, próximo ao seu local de vida, aqui interpretado como um ambiente de baixa energia, abaixo do nível de base de onda de bom tempo. A ausência de assinaturas tafonômicas (desarticulação, fragmentação e abrasão) é indicativa de que o transporte lateral foi curto e de baixa energia, e é aqui interpretado como um fluxo gravitacional de massa.

Figura 37. Síntese dos resultados obtidos na Seção HGS. **A**, Composição total; **B**, Composição Faunística – Bivalves; **C**, Guilda – Bivalves; **D**, Desarticulação – Bivalves; **E**, Orientação – Bivalves; **F**, Distribuição de Frequência de Tamanho de *E. frigida*; **G**, Orientação em planta.

5.2.4 Seções Chaminé (CS) e Lava Crag (LCS)

Por apresentarem padrões faunísticos, ecológicos e tafonômicos muito parecidos, optou-se por discutir as Seções Chaminé e Lava Crag (Figura 1, CS e LCS) conjuntamente. As figuras 38 e 39 apresentam uma síntese dos resultados obtidos nas seções CS e LCS, respectivamente, que serão discutidos a seguir.

As faunas que compõem os horizontes fossilíferos das seções Chaminé e Lava Crag são compostas principalmente por restos do bivalve *Neilo (Neilo) rongelii* e restos do crustáceo *A. inflata* (Figuras 38 A, B e 39 A, B).

Diferentemente das seções discutidas anteriormente, estas são compostas predominantemente por bivalves suspensívoros da infauna profunda (Figuras 38C e 39 C), os quais possuem, conforme Aberhan (1994), amplo registro em ambientes de plataforma rasa formados durante o Mesozóico, ocorrendo tanto em substratos finos como em substratos de granulometria mais grossa.

Outra particularidade observada nestas duas seções, relativamente às seções anteriormente discutidas, é o predomínio de bioclastos desarticulados (Figuras 38D e 39D). No entanto, a orientação dos bioclastos é semelhante à observada na Seção PRS-C2, onde a maioria dos bivalves encontra-se preservada preferencialmente concordante em relação ao plano de acamamento (Figuras 38E e 39E).

Segundo Torello (1994), a desarticulação pode ser entendida como a desintegração do endo ou exoesqueleto ao longo de suas articulações, por deterioração bacteriana dos tecidos de conexão. Em moluscos bivalves, a desarticulação ocorre normalmente em poucas semanas, dependendo da energia do meio, e então os restos ficam sujeitos ao transporte e ao retrabalhamento sendo redepositados e reorientados (Brett e Baird, 1986, Holz e Simões, 2002).

Em ambas as seções, as valvas isoladas orientadas concordantemente em relação ao plano de acamamento foram preservadas, em sua maioria, posicionadas com a convexidade para baixo, ou seja, fora da posição de maior estabilidade hidrodinâmica (Emery, 1968, Clifton e Boggs Jr., 1970), estando mais sujeitas à remobilização pela ação de correntes (Johnson, 1957).

Assembléias compostas por conchas de bivalves orientadas concordantemente em relação ao plano de acamamento, e com a convexidade voltada para baixo, são atribuídas à deposição por correntes de turbidez ou, quando localizadas na plataforma continental, pela atividade de carnívoros e carniceiros, ou bioturbação (Clifton e Boggs Jr., 1970, Kidwell e

Bosence, 1991). De acordo com Müller (1979), a orientação de conchas com a convexidade para baixo só pode ser mantida em águas calmas, sem a interferência de correntes laterais fortes e, conforme Clifton e Boggs Jr., (1970), têm sido utilizadas como critério para a distinção de depósitos formados por correntes de turbidez daqueles formados por correntes tracionais.

Apesar de haver um predomínio de valvas direitas na Seção CS e, de valvas esquerdas na Seção LCS (Figuras 38D e 39D), esta diferença não é significativa, não havendo, desta forma, seleção de uma valva ou de outra, indicando transporte não prolongado (Boucot, 1953).

A curva da distribuição de frequência de tamanho de *Neilo (Neilo) rongelii* na seção CS reflete uma distribuição normal (Figura 38F), enquanto que na Seção LCS é clara a ocorrência de duas modas bastante distintas (Figura 39F), indicando uma melhor seleção de tamanho. Porém esta diferença não é estatisticamente significativa, como demonstrado no item 4.3.2 (Distribuição da frequência de tamanho), uma vez que a amostragem em ambas as seções é baixa.

A orientação em planta dos bioclastos posicionados concordantemente em relação ao plano de acamamento refletiu uma orientação preferencial dos bioclastos, sendo que, na Seção CS, a direção é preferencialmente NE-SW (Figura 38G) e na Seção LCS a direção preferencial é NW (Figura 39G), indicando atuação de correntes de fundo de baixa energia, porém não contrariando a hipótese das concentrações terem sido formadas em ambiente de baixa energia, uma vez que estas correntes são capazes de rotacionar os bioclastos em planta, mas não possuem energia suficiente para inverter sua posição.

A ocorrência de raros restos do bivalve suspensívoro da infauna profunda *Panopea* (*Panopea*) cf. *Panopea regularis* na seção CS, preferencialmente em posição vertical com as valvas articuladas fechadas, indica que este táxon foi preservado em posição de vida, compondo uma assembléia autóctone (Kondo, 1987, Kidwell e Bosence, 1991 Kondo, 1998). Essa informação é corroborada pelo fato de que eventos de tempestade atingem o substrato na plataforma e erodem uma camada de cerca de 15 a 20cm de substrato, reorientando apenas bivalves que escavam em porções mais próximas à superfície (Kondo, 1987).

A ocorrência de caranguejos *Antarctidromia inflata* preservados preferencialmente articulados com a parte dorsal voltada para cima é indicativa de posição de vida para este táxon. Icnofósseis atribuídos à atividade destes organismos também refletem soterramento *in situ* (Förster *et al.*, 1987).

Admite-se, portanto, que as valvas desarticuladas de *Neilo* (*Neilo*) *rongelii* e demais bioclastos como raros restos de gastrópodes e corais foram colocados em suspensão por um evento de turbidez e posteriormente decantados sobre a população vivente de *Panopea* (*Panopea*) cf. *Panopea regularis* e caranguejos, os quais foram soterrados em posição de vida.

Embora não se possa apontar com exatidão o nível de base da bacia onde as concentrações fossilíferas das seções CS e LCS foram geradas, admite-se que estas se deram em um ambiente de águas calmas, provavelmente próximas ao nível de base de ondas de tempestade, onde há ausência de correntes ou fluxos de alta energia junto ao fundo, uma vez que os bioclastos encontram-se, em sua maioria, com a convexidade voltada para baixo, porém orientados.

Figura 38. Síntese dos resultados obtidos na Seção CS. **A**, Composição total; **B**, Composição Faunística – Bivalves; **C**, Guilda – Bivalves; **D**, Desarticulação – Bivalves, VE, Valva esquerda, VD, Valva direita; **E**, Orientação – Bivalves; **F**, Distribuição de Frequência de Tamanho de *N. (N.) rongelii*; **G**, Orientação em planta.

Figura 39. Síntese dos resultados obtidos na Seção LCS. **A**, Composição total; **B**, Composição Faunística – Bivalves; **C**, Guilda – Bivalves; **D**, Desarticulação – Bivalves, VE, Valva esquerda, VD, Valva direita; **E**, Orientação – Bivalves; **F**, Distribuição de Frequência de Tamanho de *N. (N.) rongelii*; **G**, Orientação em planta.

5.3 ORGANISMOS PIRITIZADOS COMO INDICADORES DA DINÂMICA SEDIMENTAR

O conteúdo deste capítulo compõe o artigo:

CASATI, R., ANELLI, L.E., SANTOS, P.R. dos, ALMEIDA, R.P. de (no prelo). Invertebrados marinhos piritizados como indicadores da dinâmica sedimentar: um estudo de caso do Mioceno Inferior da Ilha Rei George, Antártica Ocidental. *XX Congresso Brasileiro de Paleontologia*, Búzios, RJ.

Após a morte de um organismo, em ambientes oxigenados, normalmente ocorre a decomposição de seus tecidos, tais como as víceras e músculos. Isso ocorre devido à natureza destrutiva dos ambientes subaéreos e subaquáticos (Medeiros, 2004). Além disso, tecidos moles representam ricas fontes de nutrientes para organismos predadores, carniceiros ou decompositores (Allison, 1990a; Allison e Briggs, 1991).

Como consequência, os processos de decaimento promovem um expressivo tendenciamento no registro fossilífero sendo uma das principais fontes de perda de informação paleontológica. Deste modo, a fidelidade do registro fóssil é alterada, isto é, a similaridade das características paleoecológicas e tafonômicas (Allison, 1990a; Kidwell e Bosence, 1991; Brenchley e Harper, 1998). O efeito mais óbvio deste tendenciamento é a raridade de partes moles preservadas (Allison, 1990a; Allison e Briggs, 1991). No entanto, as partes duras também são afetadas. Por exemplo, elementos esqueléticos podem ser facilmente desarticulados quando transportados após a degradação das partes moles (Allison e Briggs, 1991; Holz e Simões, 2002).

De acordo com Canfield e Raiswell (1991a) e Martin (1999), a preservação de partes moles em sedimentos antigos requer a ocorrência de condições físico-químicas excepcionais, as quais deveriam incluir soterramento rápido, estagnação e recobrimento por cianobactérias.

Segundo Allison (1988a, b), a única maneira de cessar a perda destes tecidos é através da sua mineralização. Muitos exemplos de preservação de tecidos moles estão associados com mineralização diagenética precoce (e.g., Allison, 1988a, Bottjer *et al.*, 2002) a qual deve ocorrer rapidamente sob condições anóxicas (Allison, 1988b).

Estudos realizados no final da década de 80 (Allison, 1988 a, b) demonstraram que o soterramento rápido atua na preservação de restos esqueléticos articulados, mas tem pouca importância na preservação de partes moles, sendo estas preservadas principalmente pela precipitação mineral na diagênese precoce, a qual age evitando a perda de informação que é dada pela decomposição dos restos orgânicos (Allison, 1990b; Canfield e Raiswell, 1991a).

Minerais formados durante a diagênese precoce, como por exemplo a pirita, são, por esta razão, importantes meios de preservação de partes moles.

De acordo com Brenchley e Harper (1998), a maioria dos fósseis piritizados é encontrada em lamitos, uma vez que sua formação requer a disponibilidade de carbono orgânico, ferro e sulfato, sendo estes constituintes comumente encontrados em lamas marinhas. A maior parte da piritização ocorre dentro da zona de redução do sulfato, em lamitos dentro de poucos metros da superfície do sedimento.

No presente trabalho é estudada a ocorrência de restos de invertebrados marinhos piritizados coletados em rochas da Ilha Rei George, Antártica Ocidental.

5.3.1 Redução do Sulfato e formação da pirita

Em sedimentos marinhos, a oxidação é o primeiro passo na decomposição da matéria orgânica (Allison, 1990a; Canfield e Raiswell, 1991a). No entanto, quando há um aumento no índice de matéria orgânica e/ou quando a matéria orgânica decomposta é soterrada abaixo da zona de respiração óxica (Canfield e Raiswell, 1991b), a difusão do oxigênio dentro do sedimento é impedida e os microorganismos passam a respirar anaerobicamente. Em ambientes marinhos, o principal caminho para a decomposição anaeróbica é através da redução do sulfato (SO_4^{-2}) (Allison, 1990b), segundo fórmula simplificada abaixo:

A taxa de redução do sulfato depende principalmente de três fatores: 1) da disponibilidade de matéria orgânica a ser decomposta; 2) da disponibilidade de sulfato e; 3) da amplitude da decomposição aeróbica, ou seja, quanto maior a quantidade de decomposição por respiração óxica, menor é a disponibilidade de matéria orgânica para a redução do sulfato (Speyer e Brett, 1987; Canfield e Raiswell, 1991a). Em ambientes marinhos, a taxa de redução do sulfato está fortemente vinculada à taxa de sedimentação, uma vez que quanto maior for a taxa de deposição de sedimento, menor será a quantidade de matéria orgânica decomposta por respiração óxica e maior a disponibilidade de matéria orgânica para a redução do sulfato (Canfield e Raiswell, 1991a). Portanto, nesse tipo de ambiente, a redução do sulfato é controlada principalmente pelo suprimento de matéria orgânica (Allison, 1990a; Canfield e Raiswell, 1991a).

De acordo com Jorgenson (1982) e Brett e Baird (1986), a redução do sulfato passa por uma série de estágios, incluindo a quebra de biopolímeros orgânicos (por fermentação), originando moléculas orgânicas mais simples que são utilizadas como combustível nas reações de redução do sulfato. O principal subproduto dessa reação é o ácido sulfídrico (H_2S) que pode se combinar com ferro (Fe) para produzir partículas de monossulfetos de ferro (FeS). A quebra do H_2S libera enxofre (S) que pode reagir com o FeS para produzir pirita (Figura 40).

Figura 40. Esquema dos processos envolvidos na produção de pirita (de acordo com Canfield e Raiswell, 1991a).

A pirita é o sulfeto mais comum encontrado em rochas sedimentares argilosas marinhas (Canfield e Raiswell, 1991a), pois sua formação requer carbono orgânico, ferro e sulfato sendo estes constituintes comuns em lamas marinhas (Brenchley e Harper, 1998), e, segundo Suguio (2003), também em arenitos.

A formação de pirita é favorecida em ambientes que não são nem anóxicos nem fortemente oxigenados na superfície de deposição dos sedimentos, mas naqueles em que a anóxia se desenvolve em profundidades rasas (Brenchley e Harper, 1998). De acordo com Medeiros (2004), a pirita é comumente encontrada em folhelhos escuros, formados em ambientes estagnados e ricos em matéria orgânica.

A forma da pirita está relacionada com o ambiente diagenético, o qual é determinado fortemente pelo grau de oxigenação e taxa de sedimentação. Em ambientes marinhos aeróbicos a disaeróbicos, a formação da pirita é tipicamente limitada a pequenos locais de

matéria orgânica metabolizável, como o interior de conchas, carapaças ou carcaças fossilizadas por outros processos (Brett e Baird, 1986; Medeiros, 2004) (Figura 41, Campos A e B). Uma vez exposta a condições mais oxigenadas, a pirita escurece rapidamente (Medeiros, 2004).

Estudos em sedimentos recentes mostraram que a formação de pirita pode ocorrer muito precocemente na história diagenética do sedimento, iniciando-se apenas a poucos centímetros abaixo da interface água-sedimento (Berner, 1984; Allison, 1990b; Brenchley e Harper, 1998). Da mesma maneira, Brett e Baird (1986) afirmaram que a presença de pirita diagenética precoce e seu modo de ocorrência em fósseis preservados em folhelhos parecem representar sensíveis indicadores de taxas de soterramento e de condições geoquímicas na interface água/sedimento, ou próxima a ela.

Figura 41. Crescimento de pirita em sedimentos em relação a níveis de oxigenação e taxa de sedimentação. Os campos A e B são explicados no texto (Modificado de Brett e Baird, 1986).

Segundo Brett e Baird (1986), a produção de pirita pode ocorrer por meio de soterramento rápido de organismos, os chamados *obruition deposits* (= depósitos de obrução, Holz e Simões, 2002), também chamados de depósitos de sufocamento (Simões *et al.*, 1998a, b; Holz e Simões, 2002). Estes depósitos são comumente considerados como exemplos de preservação excepcional (*Konservatlagerstätten*, ver Seilacher, 1970), sendo primariamente reconhecidos pelos aspectos tafonômicos dos fósseis que os compõem. Geralmente, estes

depósitos são compostos por um grande número de esqueletos articulados, apresentando pouca ou nenhuma modificação pós-morte, e raramente apresentam sinais de transporte prolongado (Brett, 1990), tais como fragmentação, abrasão e seleção de tamanho (Davies, *et al.*, 1989; Kidwell *et al.*, 2001; Holz e Simões, 2002) e as assembléias fósseis desses depósitos geralmente retratam uma comunidade (Holz e Simões, 2002). Os agentes geológicos que contribuem para a formação de depósitos de sufocamento são, em geral, formados por ação de fluxos gravitacionais de sedimento ou deposição rápida por eventos de tempestades (Brett, 1990).

5.3.2 Pirita em Cape Melville e seu significado paleoambiental

Dentre as quatro seções estratigráficas levantadas no topo da Formação Cape Melville, apenas na base de uma delas (Seção Hard Ground – HGS), um intervalo de aproximadamente 0,80m de espessura de um siltito areno-argiloso, cinza escuro quando fresco, com fissilidade horizontal, com raros clastos dispersos de litologias exóticas, de dimensões milimétricas, podendo alcançar até 5cm ao longo do eixo maior, revelou a existência de restos de invertebrados total ou parcialmente piritizados.

Este material é representado por restos do bivalve depositívoro escavador da infauna rasa *Ennucula frigida* (Anelli *et al.*, 2006) e restos do coral escleractíneo *Flabellum rariseptatum* (Roniewicz e Morycowa, 1987), ambos representando os táxons mais abundantes da seção.

Esta característica denota um fato raro para depósitos da Ilha Rei George, uma vez que não foi identificada a presença de pirita macroscópica nas demais seções da Formação Cape Melville, bem como em Vaureal Peak (Quaglio *et al.*, no prelo) e em Low Head, que é a localidade com a maior diversidade de fósseis de invertebrados da Antártica. Além deste registro, foi identificada a presença de pirita em restos de caranguejos preservados também em rochas da Formação Cape Melville (Förster *et al.*, 1987).

Além da presença de pirita, outras feições são indicativas de que a concentração de bioclastos na Seção HGS teve sua gênese provavelmente em um depósito de sufocamento, conforme proposto por Brett e Baird (1986), tais como o alto índice de conchas de moluscos bivalves articuladas fechadas (N= 123, 85%); a curva de frequência de tamanho para *E. frigida*, cujo táxon é o mais abundante (N=130, 66%, comparando entre todos os bioclastos e 80% entre apenas os demais bivalves), reflete uma distribuição normal, esperada para uma população soterrada viva (ver item 4.2 ANÁLISE QUANTITATIVA); além disto, não existem

sinais de modificação pós-morte, tais como fragmentação, abrasão e bioerosão, tanto nos bivalves como nos corais.

Por outro lado, a orientação dos bioclastos em posição de vida, esperada para um depósito de sufocamento, não foi observada tanto nos bivalves (N=105, 81% fora da posição de vida), conforme Stanley (1970), como nos corais (N=17, 85% fora da posição de vida) de HGS, conforme Roniewicz e Morycowa (1987) (Figura 42).

Figura 42. Gráfico de barras comparando Posição de vida Vs. Fora da Posição de vida para os bivalves e para os corais da Seção Hard Ground da Formação Cape Melville.

5.3.3 Discussão e Interpretação

A partir das assinaturas tafonômicas observadas (grande número de esqueletos articulados; a curva de frequência de tamanho para *E. frigida* refletindo uma distribuição normal; e ausência de sinais de fragmentação, bioerosão e incrustação) e da biofábrica (organismos caoticamente distribuídos) (Figura 37 D, E, F), admite-se que a assembléia fóssil da Seção Hard Ground foi remobilizada, tendo, porém, sofrido um curto período de transporte. A presença de pirita é interpretada como resultante da decomposição dos organismos soterrados, ainda vivos, em ambiente anóxico, posteriormente ao período de transporte onde os bioclastos foram reorientados por meio de um fluxo **gravitacional de massa** do tipo **fluxo de lama** (Collinson e Thompson, 1989).

A sequência geradora da assembléia que contém elementos bioclásticos piritizados é, portanto, a seguinte: **1)** estabelecimento da paleocomunidade (Figura 43.1); **2)** desestabilização do sedimento e conseqüente fluxo gravitacional de massa (Figura 43.2); **3)** transporte de curta duração e reorientação dos organismos (Figura 43.3); **4)** redeposição dos bioclastos em posição caótica e posterior tentativa de escape de parte dos bivalves, o que explica a porção preservada em posição de vida (Figura 43.4); **5)** morte por sufocamento e

posterior necrólise, promovendo a redução do sulfato pela combinação do sulfato contido na água intersticial com o carbono orgânico gerando ácido sulfídrico que torna o ambiente redutor, elevando a linha de descontinuidade do potencial de redox, a qual separa o ambiente oxidante (acima) do ambiente redutor (abaixo), acima dos organismos; conseqüente combinação do ferro com o enxofre liberado pela quebra do ácido sulfídrico (Figura 43.5); **6**) formação de pirita (Figura 43.6).

O fluxo de lama consiste, de acordo com Leeder (1999), num fluxo pastoso de grãos de tamanhos variados, ou seja, pobremente selecionados (Kidwell e Holland, 1991), com um componente amplo de material de granulometria fina.

Fluxos de massa podem se desenvolver a partir de uma série de fatores, tais como mudanças na pressão dos poros do sedimento devido à carga ou à ação de ondas de tempestade e até através de eventos sísmicos.

Na Seção Hard Ground, a desestabilização do sedimento que transportou e reorientou ou bioclastos pode ter sido promovida pela interação de uma massa de gelo flutuante (*iceberg*) com os sedimentos do fundo oceânico, os chamados *Ice Scours* (Rocha-Campos *et al.*, 1994).

Estes arrastes de gelo são amplamente observados em fundos de lagos Pleistocênicos (veja ampla lista de exemplos em Rocha-Campos *et al.*, 1994) e constituem uma característica marcante de plataformas marinhas rasas de ambientes de clima frio e, de acordo com Wright *et al.* (1983), processos de movimentação de massa de sedimentos têm sido amplamente reconhecidos em diversos locais ao redor do continente antártico.

Figura 43. Interpretação da gênese do depósito fossilífero da Seção Hard Ground. Legenda: DPR – descontinuidade de potencial de redox. Explicação no texto.

6. CONCLUSÕES

Os resultados e as discussões obtidos no presente estudo permitiram concluir que:

- 1) Observações de campo, dados quantitativos e qualitativos e análises estatísticas foram utilizados a fim de caracterizar bioestratinomicamente as concentrações fossilíferas presentes no topo da Formação Cape Melville e verificar se estas foram geradas por processos bioestratinômicos e diagenéticos ou essencialmente paleoecológicos (itens 1-2);
- 2) Os dados quantitativos e qualitativos, corroborados por testes estatísticos, permitem inferir que as Seções PRS e HGS são mais parecidas entre si, assim como as Seções CS e LCS também apresentam similaridades entre si (itens 4.1, 4.2 e 4.3);
- 3) A baixa diversidade faunística e ecológica observada nas quatro seções da Formação Cape Melville sugere que o ambiente deposicional era de alto estresse, tais como os que apresentam déficit de oxigênio (item 5.1);
- 4) As concentrações fossilíferas analisadas nas quatro seções da Formação Cape Melville possuem estrutura interna simples (item 5.2);
- 5) A análise do padrão de preservação dos bioclastos que compõem as assembléias das Seções PRS e HGS permitiu inferir que houve remobilização da fauna por um evento de baixa energia e pouco ou nenhum tempo de exposição dos bioclastos na interface água/sedimento (itens 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3);
- 6) As assinaturas tafonômicas presentes nos bioclastos das Seções CS e LCS apontam para atuação de processos físicos mais intensos, com transporte de restos desarticulados e redeposição por decantação sobre fauna preservada em posição de vida (item 5.2.4);
- 7) A ocorrência de pirita em bioclastos da Seção HGS foi interpretada como resultante da decomposição dos organismos soterrados vivos em ambiente anóxico (item 5.3);
- 8) A presente dissertação reitera a importância dos estudos tafonômicos e paleoecológicos no entendimento da dinâmica deposicional do passado, contribuindo com um grande conjunto de dados úteis na caracterização de ambientes glaciais e periglaciais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABERHAN, M. 1994. Guild-structure and evolution of Mesozoic benthic shelf communities. *Palaios*, 9: 516-545.
- AIGNER, T., HAGDORN, H., MUNDLOS, R. 1978. Biohermal, biostromal and storm-generated coquinas in the Upper Muschelkalk. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 157: 42-57.
- ALEXANDER, R.R., STANTON Jr., R.J., DODD, J.R. 1993. Influence of Sediment Grain Size on the Burrowing of Bivalves: Correlation with Distribution and Stratigraphic Persistence of Selected Neogene Clams. *Palaios*, 8: 289-303.
- ALLISON, P.A. 1988a. The role of anoxia in the decay and mineralization of proteinaceous macro-fossils. *Paleobiology*, 14 (2): 139-154.
- ALLISON, P.A. 1988b. Konservat-Lagerstätten: cause and classification. *Paleobiology*, 14 (4): 331-344.
- ALLISON, P.A. 1990a. Decay Processes: 213-216. In: BRIGGS, D.E.G., CROWTHER, P.R. (eds.). *Paleobiology – a synthesis*. Blackwell Science, 583p.
- ALLISON, P.A. 1990b. Pyrite: 253-255. In: BRIGGS, D.E.G., CROWTHER, P.R. (eds.). *Paleobiology – a synthesis*. Blackwell Science, 583p.
- ALLISON, P.A., BRIGGS, D.E.G. 1991. *Taphonomy releasing the data locked in the fossil record*. Plenum Press, 560p.
- ALLMON, R.A. 1985. “Butterflied” bivalves as paleoenvironmental indicators. Geological Society of America, *Abstracts with program*, 17, p.512.
- ANELLI, L.E., SIMÕES, M.G., ROCHA-CAMPOS, A.C. 1998. Mode of Life of some Brazilian late Paleozoic anomalodesmatans. In: JOHNSTON, P.A. & HAGGART, J.W. (eds.). *Bivalves: An Eon of evolution – paleobiological studies in Honoring of Norman D. Newell*. Calgary, University of Calgary Press: 69-74.
- ANELLI, L.E., ROCHA-CAMPOS, A.C., SANTOS, P.R. DOS, PERINOTTO, J.A. DE J., QUAGLIO, F. 2006. Late Oligocene-Early Miocene bivalves from the Cape Melville Formation, King George Island, West Antarctica. *Alcheringa*, 30: 111-132.
- ARDILA, N.E., DÍAZ, J.M. 1998. Two new species of Periploma (Bivalvia: Anomalodesmata: Periplomatidae) from the Southern Caribbean. *The Nautilus*, 112 (2): 69-72.
- BEHRENSMEYER, A.K., HOOK, R.W. 1992. Paleoenvironmental contexts and taphonomic modes in the terrestrial fossil record. In A.K. Behrensmeyer, J.D. Damuth, W.A. DiMichele, R. Potts, H.D. Sues, S.L. Wing (eds.) *The evolutionary paleoecology of terrestrial plants and animals*, Chicago, University of Chicago Press: 15-136.
- BEHRENSMEYER, A.K., KIDWELL, S.M. 1985. Taphonomy's contribution to paleobiology. *Paleobiology*, 11: 105-119.

- BENDER, K., DAVIS, W.R. 1984. The effect of feeding by *Yoldia limatula* on bioturbation. *Ophelia*, 23 (1): 91-100;
- BERNARD, F.R. 1989. Living Periplomatidae of the Pacific and Indo-Pacific Regions (Bivalvia: Anomalodesmata). *Venus*, 48 (1): 1-11.
- BERNER, R.A. 1984. Sedimentary pyrite formation: an update. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 605-6015.
- BEU, A.G., MAXWELL, P.A. 1990. Cenozoic Mollusca of New Zealand. *New Zealand Geological Survey Paleontological Bulletin*, 58. ISSN 0114-2283, 518p.
- BIERNAT, G., BIRKENMAJER, K., POPIEL-BARCZYK, E. 1985. Tertiary brachiopods from the Moby Dick Group of King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, 81 (5): 109-141.
- BIRKENMAJER, K. 1982a. Report on geological investigations of King George Island and Nelson Island (South Shetland Islands, West Antarctica) in 1980-81. *Studia Geologica Polonica*, 74: 175-197.
- BIRKENMAJER, K. 1982b. Pre-Quaternary fossiliferous glacio-marine deposits at Cape Melville, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica). *Bull. Acad. Pol. Sci., Terre*, 29 (4): 331-340.
- BIRKENMAJER, K. 1984. Geology of Cape Melville area, King George Island (south Shetland Islands, Antarctica): Pre-Pliocene glaciomarine deposits and their substratum. *Studia Geologica Polonica*, 79: 7-36.
- BIRKENMAJER, K. 1985. Onset of Tertiary continental glaciation in the Antarctic Peninsula sector (West Antarctica). *Acta Geologica Polonica*, 35 (1-2): 1-31.
- BIRKENMAJER, K. 1987. Oligocene-Miocene glacio-marine sequences of King George Island (South Shetland Islands), Antarctica. *Paleontologia Polonica*, 49: 9-36.
- BIRKENMAJER, K. 1988. Report on the Polish geological investigations in the Antarctic Peninsula sector, 1987 -1988. *Polish-Polar-Research*, 9 (4.): 505-519.
- BIRKENMAJER, K. 1996. Polish geological research on King George Island, West Antarctica (1977-1996). *Polish Polar Research*, 17 (3-4): 125-141.
- BIRKENMAJER, K. 2003. The Kapp Lyell Diamictite (late Proterozoic), Bellsund, Spitsbergen; sedimentological evidence for its non-glacial origin. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences*, 51 (1): 65-78.
- BIRKENMAJER, K., LUCZKOWSKA, E. 1987. Foraminiferal evidence for a lower Miocene age of glaciomarine and related strata, Moby Dick Group, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, 90 (6): 81-123.
- BIRKENMAJER, K., GAZDZICKI, A., WRONA, R. 1983. Cretaceous and Tertiary fossils in glacio-marine strata at Cape Melville, Antarctica. *Nature (London)*. 303 (5912):56-59.

- BIRKENMAJER, K., GAZDIZIK, A., PUGACZEWSKA, H., WRONA, R. 1987. Recycled Cretaceous belemnites in Lower Miocene glacio-marine sediments (Cape Melville Formation) of King George Island, West Antarctica. *Paleontologia Polonica*, 49: 49-62.
- BIRKENMAJER, K., DANOWSKI, W., ROLNICKI, K. 1998. Late Holocene raised marine terrace at Arctowski Station, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geológica Polonica*, 95: 75-80.
- BITNER, M.A., CRAME, A. 2002. Brachiopods from the lower Miocene of King George Island, West Antarctica. *Polish Polar Research*, 23 (1): 75-84.
- BLASZYK, J. 1987. Ostracods from the Oligocene Polonez Cove Formation of King George Island, West Antarctica. *Paleontologia Polonica*, 49: 63-82.
- BOTTJER, D.J., ETTER, W., HAGADORN, J.W., TANG, C.M. (2002) Fossil-Lagerstätten: Jewels of the fossil record. In: Bottjer, D.J., Etter, W., Hagadorn, J.W., Tang, C.M. (eds.) (2002) *Exceptional fossil preservation: a unique view on the evolution of marine life*. Columbia University Press: 1-10.
- BOYAJIAN, G.E., THAYER, C.W. 1995. Clam calamity: a recent supratidal storm-deposit as an analog for fossil shell beds. *Palaaios*, 10: 484-489.
- BRENCHLEY, P.J., HARPER, D.A.T. 1998. *Palaeoecology: ecosystems, environments and evolution*. London, Chapman e Hall, 402p.
- BRETT, C.E. 1990. Obrution Deposits. In: BRIGGS, D.E., CROWTHER, P.R. (eds.). 1990. *Paleobiology a synthesis*. Blackwell Science: 239-243.
- BRETT, C.E., BAIRD, G.C. 1986. Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. *Palaaios*, 4: 303-309.
- BRETT, CE.; BAIRD, G.C. 1997. Epiboles, outages, and ecological evolutionary bioevents:taphonomy, ecology, and biogeographic factors. In C.E. Brett, G.C. Baird (eds.). *Paleontological Events: stratigraphic, ecological, and evolutionary implications*. New York, Columbia University Press: 249-284.
- CAMPOS, H. 1979. *Estatística experimental não-paramétrica*. 3ª ed. Piracicaba. 343p.
- CANFIELD, D.E., RAISWELL, R. 1991a. Pyrite formation and fossil preservation. In: ALLISON, P.A., BRIGGS, D.E.G. (eds.)1991. *Taphonomy releasing the data locked in the fossil record*. Plenum Press: 337-387.
- CANFIELD, D.E., RAISWELL, R. 1991b. Carbonate precipitation and dissolution – its relevance to fossil preservation. In: ALLISON, P.A., BRIGGS, D.E.G. (eds.)1991. *Taphonomy releasing the data locked in the fossil record*. Plenum Press: 411-453.
- CARROL, M., KOWALEWSKI, M., SIMÕES, M.G., GOODFRIEND, G.A. 2000. Quantitative estimates of time-averaging in articulate brachiopod accumulations from a Holocene tropical shelf (Southern Brazil). *Geological Society of America. Abstracts with Programs*, p.32.

- CASATI, R., ANELLI, L.E., SANTOS, P.R. 2003. Preliminary results on the taphonomy of a nuculid bivalve concentration from the Cape Melville Formation (Early Tertiary), King George Island, Antarctica. *Paleo 2003 – Núcleo São Paulo. Resumos e Programação*. FFCLRP/USP campus de Ribeirão Preto, p.2.
- CASATI, R. ANELLI, L.E., SANTOS, P.R. dos, ALMEIDA, R.P. de (no prelo). Invertebrados marinhos piritizados como indicadores da dinâmica sedimentar: um estudo de caso do Mioceno Inferior da Ilha Rei George, Antártica Ocidental. *XX Congresso Brasileiro de Paleontologia*, Búzios, RJ.
- COX, L.R. 1969. General Features of Bivalvia. In: Moore, R.C. (ed.). 1969. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. The Geological Society of America, Inc./ The University of Kansas. Part N (1-3): N2-N129.
- CLIFTON, H.E., BOGGS Jr., S. 1970. Concave-up pelecypod (*Psephidea*) shells in shallow marine sand, Elk River Beds, southwest Oregon. *Journal of Sedimentary Petrology*, 40: 888-897.
- COLLINSON, J.D., THOMPSON, D.B. 1989. *Sedimentary Structures*. Unwin Hyman, London, 207p.
- CUMMINS, H., DOWELL, N.H, STANTON JR., R.J., STAFF, G. 1986. The size-frequency distribution in paleoecology effects of taphonomic process during formation of molluscan death assemblages in Texas Bays. *Palaeontology*, 29: 495-518.
- DAVIES, D.J., DOWELL, E.N., STANTON Jr., R.J. 1989. Relative rates of shell dissolution and net sediment accumulation – a commentary: can shell beds form by gradual accumulation of biogenic debris on the sea floor? *Lethaia*, 22 (2): 207-212.
- DONOVAN, S.K. 1991. *The process of fossilization*. Columbia university Press, 303p.
- DOWELL, N.H., CUMMINS, H., STANTON JR., R.J., STAFF, G. 1984. Estimation of the size of molluscan larval settlement using death assemblage. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 18: 367-384.
- DREW, G.A. 1899. The anatomy, habits and embryology of *Yoldia limatula* Say. *Mem. Biol. Lab. John Hopkins University*, 4, 37p.
- EMERY, K.O. (1968). Positions of empty pelecypod valves on the continental shelf. *Journal of Sedimentary Petrology*, 38 (4): 1264-1269.
- FLESSA, K.W., KOWALEWSKI, M. 1994. Shell survival and time-averaging in nearshore and shelf environments: estimates from the radiocarbon literature. *Lethaia*, 27: 153-165.
- FLESSA, K.W., CUTLER, A.H., MELDAHL, K.H. 1993. Time and taphonomy: quantitative estimates of time-averaging and stratigraphic disorder in a shallow marine habitat. *Paleobiology*, 19 (2): 266-286.
- FÖRSTER, R., GAZDZICK, A., WRONA, R. 1985. First record of a homolodromiid crab from a Lower Miocene glacio-marine sequence of West Antarctica. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, 6: 340-348.

- FÖRSTER, R., GAZDZICK, A., WRONA, R. 1987. Homolodromiid crabs from the Cape Melville Formation (Lower Miocene) of King George Island, West Antarctica. *Paleontologia Polonica*, 49: 147-162.
- FRANZ, D. 1976. Benthic molluscan assemblages in relation to sediment gradients in northeastern Long Island Sound, Connecticut. *Malacologia*, 15: 377-399.
- FÜRSICH, F.T. 1978. The influence of faunal condensation and mixing on the preservation of fossil benthic communities. *Lethaia*, 11: 243-250.
- FÜRSICH, F.T. 1980. Preserved life positions of some Jurassic bivalves. *Palaeontologische Zeitschrift*, 54 (3/4): 289-300.
- FÜRSICH, F.T., ABERHAN, M. 1990. Significance of time-averaging for paleocommunity analysis. *Lethaia*, 23: 143-152.
- FÜRSICH, F.T., FLESSA, K.W. 1987. Taphonomy of tidal flat molluscs in the northern Gulf of California: paleoenvironmental analysis despite the perils of preservation. *Palaaios*, 2: 543-559.
- FÜRSICH, F.T., OSCHMANN, W. 1993. Storm shell beds as tools in basin analysis: the Jurassic of Kachchh, western India. *Journal of Geological Society of London*, 150: 169-185.
- GAZDZICKI, A. 2003. Tertiary ecosystems of Antarctica. *XXIX International Polar Symposium*, Kraków, 19-21: 163-167.
- GAZDZICKI, A., STOLARSKI, J. 1992. An Oligocene record of the coral *Flabellum* from Antarctica. *Polish Polar Research*, 13 (3-4): 265-272.
- GHILARDI, R.P. 1999. *Paleoautoecologia dos bivalves do Grupo Passa Dois (Neopermiano), no Estado de São Paulo: bivalves fósseis como indicadores da dinâmica sedimentar*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, São Paulo, SP. 160p.
- GHILARDI, R.P., SIMÕES, M.G. 2000. Bivalves fósseis como indicadores da dinâmica sedimentar: um estudo de caso do Paleozóico Superior da Bacia do Paraná, Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia*, 23 (51): 3-20.
- GREENSTEIN, B.J. 1992. Taphonomic bias and the evolutionary history of the familie Cidaridae (Echinodermata: Echinoidea). *Paleobiology*, 10: 50-79.
- HOLZ, M., SIMÕES, M.G. 2002. *Elementos fundamentais de Tafonomia*. Ed. Universidade UFRGS. 231p.
- HOLZ, M., SIMÕES, M.G. 2005. Taphonomy – Overview of main concepts and applications to sequence stratigraphic analysis. In: Koutsoukos, E (ed.). 2005. *Applied Stratigraphy*: 249-278.
- JESIONEK-SZYMANSKA, W. 1987. Echinoids from the Cape Melville Formation (Lower Miocene) of King George Island, West Antarctica. *Paleontologia Polonica*, 49: 163-168.

- JOHNSON, R.G. 1957. Experiments on the burial of shells. *Journal of Geology*, 65 (5): 527-535.
- JORGENSEN, B.B. 1982. Ecology of the bacteria of the sulphur cycle with special reference to anoxic-oxic interface environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B298: 543-561.
- KARCZEWSKI, L. 1987. Gastropods from the Cape Melville Formation (Lower Miocene) of King George Island, West Antarctica. *Paleontologia Polonica*, 49: 127-146.
- KELLOG, Y.L. 1915. Ciliary mechanisms of Lamellibranchia with descriptions of anatomy. *Journal of morphology*, 26: 625-701.
- KIDWELL, S.M. 1982. Time scales of fossil accumulation: patterns from miocene benthic assemblages. Third North American Paleontological Convention, *Proceedings*, 1: 295-300.
- KIDWELL, S.M. 1986. Taphonomic Feedback in Miocene Assemblages: testing the role of dead hardparts in benthic communities. *Palaaios*, 1: 239-255.
- KIDWELL, S.M., AIGNER, T. 1985. Sedimentary dynamics of complex shell beds: implications for ecological and evolutionary patterns. In: U. Bayer, A. Seilacher (eds.) *Sedimentary and evolutionary cycles*. Berlin, Springer Verlag: 382-395.
- KIDWELL, S.M., BEHRENSMEYER, A.K. (eds.) 1993. Taphonomic approaches to time resolution in fossil assemblages. Paleontological Society Knoxville, *Short Courses in Paleontology*, 6.
- KIDWELL, S.M., BOSENCE, 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*. New York, Plenum Press: 115-209.
- KIDWELL, S.M., HOLLAND, S.M. 1991. Field description of coarse bioclastic fabrics. *Palaaios*, 6: 426-434.
- KIDWELL, S.M., JABLONSKY, D. 1983. Taphonomic feedback: ecological consequences of shell accumulation. In: M.J., Tevez, P.L. McCall (eds.). *Biotic interactions in Recent and fossil benthic communities*, New York, Plenum Press: 195-248.
- KIDWELL, S.M.; FÜRSICH, F.T., AIGNER, T. 1986. Conceptual framework for the analysis of fossil concentrations. *Palaaios*, 1: 228-238.
- KIDWELL, S.M., ROTHFUS, F.T., BEST, M.M.R. 2001. Sensitivity of taphonomic signatures to sample size, sieve size, damage scoring system and target taxa. *Palaaios*, 16: 26-52.
- KLEIN, C. 1997. Contribuição ao estudo das concentrações fossilíferas do Grupo Passa Dois na região de Tiarajú, RS e suas implicações paleoambientais. *Dissertação de mestrado*. Universidade do Vale do Rio do Sinos, 153p.

- KLEIN, C., LEIPNITZ, I.I., SIMÕES, M.G., NOWATZKI, C.H. 1997a. Concentração fossilífera de pelecípodes da Formação Terezina (Permiano Superior), Bacia do Paraná, na região de Tiarajú, RS, Brasil. *Anais... 15º Congresso Brasileiro de Paleontologia*, São Pedro, SP, Boletim de Resumos, p.69.
- KLEIN, C., SIMÕES, M.G., LEIPNITZ, I.I., RICHTER, M. 1997b. Interpretação dos dados tafonômicos na deposição de peixes e pelecípodes da Formação Terezina (Grupo Passa Dois), na região de Tiarajú, RS. *Anais... 15º Congresso Brasileiro de Paleontologia*, São Pedro, SP, Boletim de Resumos, p.69.
- KONDO, Y. 1985. Stratigraphy of the Upper Pleistocene in the Udo Hills, Shizuoka Prefecture, Japan. *Journal of the Geological Society of Japan, Abstract*, 91: 121-140.
- KONDO, Y. 1987. Burrowing depth of infaunal bivalves – observation of living species and its relation to shell morphology. *Transactions and Proceedings of the Paleontological Society of Japan, New Series*, 148: 306-323.
- KONDO, Y. 1989. “In situ” observation of a bathyal bivalve *Limopsis tajimae* by means of box core sampling, with comparative description of the fossil counterparts. *Venus*, 48 (1): 27-39.
- KONDO, Y. 1990. Preserved life orientations of soft-bottom infaunal bivalves: documentation of some Quaternary forms from Chiba, Japan. *Natural History Research*, 1: 31-42.
- KONDO, Y. 1997. Inferred bivalve response to rapid burial in a Pleistocene shallow-marine deposit from New Zealand. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 128: 87-100.
- KONDO, Y. 1998. Adaptive strategies of soft-bottom, suspension-feeding bivalves to physical disturbance: evidence from fossil preservation. In: Johnston, P.A., Haggart, J.W. (eds). *Bivalves: An Eon of evolution – paleobiological studies in Honoring of Norman D. Newell*. Calgary, University of Calgary Press: 377-391.
- KONDO, Y., IYODA, R. 1993. Response and taphonomy of bivalves to rapid burial: an experimental approach using *Ruditapes philippinarum* (Veneridae). *Annual Meeting of the Paleontological Society of Japan, Abstract*, p.102.
- KONDO, Y., KIKUCHI, N. 1995. “Shelly softground” colonized by an endobryssate bivalve *Modiolus kurulensis*: an example of taphonomic feedback from the Pleistocene of Kanazawa, Japan. *Transactions and Proceedings of the paleontological Society of Japan. New Series*, 180: 296-302.
- KOWALEWSKI, M. 1996a. Time-averaging, overcompleteness, and the geological record. *Journal of Geology*, 104: 317-326.
- KOWALEWSKI, M. 1996b. Taphonomy of a living fossil: The lingulide brachiopod *Glottidia palmeri* Dall from Baja California, Mexico. *Palaios*, 11: 244-265.
- KOWALEWSKI, M. 1996c. Taphonomic megabias in the fossil record of the lingulide. Brachiopods. In: Cooper, P., Jin, J. (eds). *Brachiopods: Proceeding of the tirth International Brachiopod Congress*. Sudbury: Balkema/ Rotterdam/ Brookfield: 145-150.

- KOWALEWSKI, M. 1997. The reciprocal taphonomic model. *Lethaia*, 30: 86-88.
- KOWALEWSKI, M., FLESSA, K.W. 1996. Improving with age: The fossil record of lingulide brachiopods and the nature of taphonomic megabias. *Geology*, 24 (11): 977-980.
- KOWALEWSKI, M., FLESSA, K.W., AGGEN, J.A. 1994. Taphofacies analysis of Recent shelly chiniens (beach ridges), northeaster Baja California, Mexico. *Facies*, 31: 209-242.
- KOWALEWSKI, M., GOODFRIEND, G.A., FLESSA, K.W. 1998. High-resolution estimates of temporal mixing within shell beds: the evils and virtues of time-averaging. *Paleobiology*, 24: 287-304.
- KOWALEWSKI, M., SIMÕES, M.G., CARROL, M., RODLAND, D.L. 2002. Abundants Braquiopods on a Tropical, Upwelling-Influenced Shelf (Southeast Brazilian Bight, South Atlantic). *Palaos*, 17: 277-286.
- KRANZ, P.M. 1974. The anastrophic burial of bivalves and its paleoecological significance. *Journal of Geology*, 82: 237-265.
- LAZO, D.G. 2004. Bivalve Taphonomy: testing the effect of life habits on the shell condition of the littleneck clam *Protothaca (Protothaca) staminea* (Mollusca: Bivalvia). *Palaos*, 19: 451-159.
- LEEDER, M. 1999. *Sedimentology and Sedimentary Basins: from Turbulence to Tectonics*. Blackwell Publishing. 592p.
- LEVINTON, J.S. 1984. Understanding the autecology of extinct organisms. In: BASSET, M.G. & LAWSON, J.D. (eds.) Autecology of Silurian organisms. *Special Papers in Paleontology*, 32: 17-26.
- MARSHALL, B.A. 1978. The genus *Neilo* in New Zealand (Mollusca: Bivalvia). New Zealand Journal of Zoology, 5: 425-436.
- MARTIN, R.E. 1999. Taphonomy a process approach. Cambridge University Press. 508p.
- MEDEIROS, M.A. 2003. Fossildiagênese. In: CARVALHO, I.S (ed.). *Paleontologia...*, 1: 47-59.
- MELDAHL, K.H., FLESSA, K.W., CUTLER, A.H. 1997. Time-averaging and postmortem skeletal survival in benthic fossil assemblages: quantitative comparisons among Holocene environments. *Paleobiology*, 23(2): 207-229.
- MENDES, J.C. 1988. *Paleontologia Básica*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo. 347p.
- MIDDLETON, G.V. 1967. The orientation of concavo-convex particles deposited from experimental turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37 (1): 229-232.
- MII, H.S., ROSSMAN, E.L. 1994. Late Pennsylvanian seasonality reflected in the ^{18}O and elemental composition of a brachiopod shell. *Geology*, 22 (7): 661-664.

- MILLER, M.F., SMAIL, S.E. 1997. A semi quantitative field method for evaluating bioturbation on bedding planes. *Palaios*, 12. p. 391-96.
- MOITA NETO, J.M. 2004. Estatística multivariada – uma visão didática-metodológica. Disponível em: <http://www.criticanarede.com/cien_estatistica.html>. Acesso em: 30/01/2005.
- MÜLLER, A.H. 1979. *Fossilization (Taphonomy)*. Sektion Geowissenschaften der Bergakademie, Freiberg, German Democratic Republic: A2-A72. In: Moore, R.C., Robinson, R.A., Teichert, C. (eds). *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part A*.
- NOBLE, J.P.A., LOGAN, A. 1981. Size-frequency distribution and taphonomy of brachiopods: a recent model. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 36: 87-105.
- NUNES, J.R.S. 1999. Análise tafonômica dos Braquiópodes inarticulados (Lingulida) do Membro Jaguariaíva, Formação Ponta Grossa (Devoniano) e suas implicações paleoambientais. UNESP, Botucatu, SP. *Monografia de conclusão de curso*. Instituto de Biociências. 62p.
- NUNES, J.R.S. 2003. Caracterização tafonômica das concentrações fossilíferas do Calcário Esperança, Formação Piauí (Carbonífero Superior), Bacia do Parnaíba e suas implicações paleoecológicas e paleoambientais. *Dissertação de Mestrado*. Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, IGc-USP. 151p.
- OLIVER, P.G. 1981. The functional morphology and evolution of recent Limopsidae (Bivalvia, Arcoidea). *Malacologia*, 21 (1-2): 61-93.
- OLIVER, P.G., ALLEN, J.A. 1980. The functional and adaptative morphology of the family Limopsidae (Bivalvia: Arcoidea). *Malacologia*, 21: 61-93.
- PERINOTTO, J. A. J., SANTOS, P. R., ROCHA-CAMPOS, A. C. R., ANELLI, L. E., TOMIO, A., 2003. Estratigrafia e fácies sedimentares das formações Destruction Bay e Cape Melville (Eoterciário), Península Melville, Antártica. *XI Seminário sobre pesquisa antártica*, São Paulo, p. 2.
- PETERSON, C.H. 1985. Patterns of lagoonal bivalve mortality after heavy sedimentation and their paleoecological significance. *Paleobiology*, 11: 139-153.
- QUAGLIO, F. (em preparação). Taxonomia e paleobiogeografia dos bivalves cenozóicos da ilha Rei George, Antártica Ocidental. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- QUAGLIO, F., ANELLI, L.E., SANTOS, P.R., PERINOTTO, J.A.J. & ROCHA-CAMPOS, A.C. no prelo. Invertebrates from the Low Head Member (Polonez Cove Formation, Oligocene) at Vauréal Peak, King George Island, West Antarctica. *Antarctic Science*.
- RHOADS, D.C. 1963. Rates of sediment reworking by *Yoldia limatula* in Buzzards Bay, Massachusetts, and Long Island Sound. *Journal of Sedimentary Petrology*, 33(3): 723-727.

- RHOADS, D.C., YOUNG, D.K. 1970. The influence of deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. *Journal of Marine Research*, 28(2): 150-178.
- ROCHA-CAMPOS, A.C., SANTOS, P.R. dos, CANUTO, J.R. 1994. *Ice scouring structures in Late Paleozoic rhythmites, Paraná Basin, Brazil*. In: Deynoux, M., Miller, J.M.G., Domack, E.W., Eyles, N., Fairchild, I.J., Young, G.M. (eds.) 1994. *Earth's Glacial Record*. Cambridge University Press: 234-240.
- RODRIGUES, S.C. 2006. Tafonomia e moluscos bivalves e braquiópodes das enseadas de Ubatuba e Picinguaba, norte do Estado de São Paulo: implicações do uso de assinaturas tafonômicas no reconhecimento de gradientes ambientais. *Tese de Doutorado*. Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, IGc-USP. 118p.
- RONIEWICZ, E., MORYCOWA, E. 1987. Development and variability of Tertiary *Flabellum rariseptatum* (Scleractinia), King George Island, West Antarctica. *Paleontologia Polonica*, 49: 83-104.
- SALAZAR-JIMENEZ, A., FREY, R.W., HOWARD, J.D. 1982. Concavity orientations of bivalve shells in estuarine and nearshore shelf sediments, Georgia. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52 (2): 585-576.
- SANCHEZ, T.M. 1992. Functional Morphology and Autecology of Silurian and Devonian Nuculoid Bivalves from Western Argentina. *Zentralblatt fuer Geologie und Palaeontologie, Teil I* (6): 1815-1939.
- SANTOS, P.R. DOS; ROCHA-CAMPOS, A.C.; TOMPETTE, R.; UHLEIN, A.; GIPP, M. E SIMÕES, J.C. 1990. Review of Tertiary Glaciation in King George Island, West Antarctica: Preliminary results. *Pesquisa Antártica Brasileira*, 2(1): 87-99.
- SIEGEL, S. 1975. *Estatística não-paramétrica – para as ciências do comportamento*. Mac.Graw-Hill. 350p.
- SIMÕES, M.G. 1996a. Pelecypod taphofacies of Corumbataí Formation (Late Permian), in central São Paulo State, Paraná Basin, Brazil. *Anais...* 39th Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador: 298-300.
- SIMÕES, M.G. 1996b. Tafonomia: estado de arte e perspectivas futuras. *Noticiário do Núcleo de SP-PR da SBP*. 17: 3-122.
- SIMÕES, M.G. 1998. Tafonomia, “time-averaging” e resolução espacial de concentrações internamente complexas: um estudo de casos do Permiano da Bacia do Paraná, Brasil e suas implicações paleoecológicas. *Tese de Livre Docência*. 160p.
- SIMÕES, M.G., GHILARDI, R.P. 2000. Protocolo tafononômico/paleoautoecológico como ferramenta na análise paleossinecológica. *Pesquisas em Geociências*, 27 (2): 3-13.
- SIMÕES, M.G., HOLZ, M. 1997. Introdução à Tafonomia. Curso Pré-congresso. *15th Congresso Brasileiro de Paleontologia*, UNESP, Botucatu. Instituto de Biociências.
- SIMÕES, M.G., KOWALEWSKI, M. 1998a. Shell beds as paleoecological puzzles: a case study from the Upper Permian on the Paraná Basin, Brazil. *Facies*, 38: 175-196.

- SIMÕES, M.G., KOWALEWSKI, M. 1998b. Genetic complexity and geobiological implications of “simple” shell beds: an example from the Upper Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Journal of African Earth Sciences*, 27 (1A): 179-180.
- SIMÕES, M.G., ROCHA-CAMPOS, A.C., 1994. An autochthonous Late Paleozoic pelecypod assemblage from the Rio do Sul Formation (Permian), Paraná Basin, Brazil. *Anais... 38th Congresso Brasileiro de Geologia*, Balneário Camboriú, Boletim de Resumos Expandidos: 206-207.
- SIMÕES, M.G., TORELLO, F.F. 2003. Modelo do 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., TORELLO, F.F., ROCHA-CAMPOS, A.C. 1994. Proximal storm shell beds or coquinas in the Corumbataí Formation (Pinzonella illusa assemblage, Late permian) in Rio Claro, SP, Parana Basin, Brasil. *Anais... 38th Congresso Brasileiro de Geologia*, Balneário Camboriú, Boletim de Resumos Expandidos: 226-227.
- SIMÕES, M.G., TORELLO, F.F., ROCHA-CAMPOS, A.C. 1996. Gênese e classificação da coquina de Camaquã (assembléia de Pinzonella neotropica), Formação Corumbataí (Permiano Superior), Rio Claro, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68: 545-557.
- SIMÕES, M.G., MARQUES, A.C., MELLO, L.H.C., ANELLI, L.E. 1997a. Phylogenetic analysis of the genera of the extinct family Megadesmidae (Pelecypoda, Anomalodesmata), with remarks on its paleoecology and taxonomy. *Journal of Comparative Biology*, 2: 75-90.
- SIMÕES, M.G., ANELLI, L.E., ROCHA-CAMPOS, A. C. 1997b. Adaptive strategies of Permian anomalodesmatan pelecypods to physical disturbance. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 69: 270.
- SIMÕES, M.G., KOWALEWSKI, M., TORELLO, F.F., ANELLI, L.E. 1998a. Long-term time-averaging despite abrupt burial: Paleozoic obrution deposits from epeiric settings of Paraná Basin, Brazil. The Geological Society of America Annual Meeting, Toronto. *Abstracts with Programs*: 384.
- SIMÕES, M.G., ROCHA-CAMPOS, A.C., ANELLI, L.E. 1998b. Paleoecology and evolution of Permian pelecypod assemblages (Paraná Basin) from Brazil. In: P.A. Johnston, and J.W. Haggart (eds.). *Bivalves - An Eon of evolution - paleobiological studies honoring Norman D. Newell*. University of Calgary Press, Calgary: 443-452.
- SIMÕES, M.G., TORELLO, F.F., KOWALEWSKI, M., KLEIN, C., MELLO, L.H.C., GHILARDI, R. 1998c. Are the obrution deposits the most precise and best resolved beds in event stratigraphy? Some Paleozoic examples from the Paraná Basin, Brazil. *Anais... XL Congresso Brasileiro de Geologia*, Belo Horizonte, MG. p. 444.
- SIMÕES, M.G., RODRIGUES, S.C., LEME, J.M., BISSARO, M.C.Jr. 2005. The settling pattern of brachiopod shells: stratigraphic and taphonomic implications to shell bed formation and paleoecology. *Revista Brasileira de Geociências*, 35 (3): 383-391.

- SNEATH, P., SOKAL, R. 1973. *Numerical Taxonomy*. São Francisco: W.H. Freeman & Co. 573p.
- SPEYER, S.E., BRETT, C.E. 1985. Clustered trilobite assemblages in the Middle Paleozoic examples. *Lethaia*, 18: 85-103.
- SPEYER, S.E., BRETT, C.E. 1987. Taphofacies models for epeiric sea environments: Middle Paleozoic examples. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 63: 225-262.
- SPEYER, S.E., BRETT, C.E. 1991. Taphonomic controls: background and episodic processes in fossil assemblage preservation. In: P.A., Allison, D.E.G., Briggs (eds.). *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record*. New York, Plenum Press: 501-545.
- STAFF, G.M., DOWELL, E.N. 1990. Taphonomic signature and the imprint of taphonomic history: discriminating between taphofacies of the inner continental shelf and microtidal inlet. In: Miller, W. (ed). *Paleocommunity temporal dynamics*. Paleontological Society Special Publication: 370-390.
- STAFF, G.M., STANTON, R.J., CUMMINS, H. 1986. Time-averaging, taphonomy and their impact on paleocommunity reconstruction: death assemblage in Texas bays. *Geological Society of America Bulletin*, 97: 428-443.
- STANLEY, S.M. 1970. Relation of the Shell Form to Life Habits of the Bivalvia (Mollusca). *The Geological Society of America, Inc. Memoir* 125: 296p.
- STOLARSKI, J., TAVIANI, M. 2001. Oligocene scleractinian corals from CRP-3 Drillhole, McMurdo Sound (Victoria Land Basin, Antarctica). *Terra Antarctica*, 8 (3): 1-4.
- SUGUIO, K. 2003. *Geologia Sedimentar*. Edgard Blücher Ltda. 1ed. 400p.
- SZANIAWSKI, H., WRONA, R. 1987. Polychaete jaws from the Cape Melville Formation (Lower Miocene) of King George Island, West Antarctica. *Paleontologia Polonica*, 49: 105-126.
- TORELLO, F.F. 1994. Características bioestratigráficas e sedimentológicas das assembléias de *Pinzonella illusa* Reed e *Pinzonella neotropica* (Reed), Formação Corumbataí (Permiano), Bacia do Paraná, Brasil. *Dissertação de Conclusão de Curso de Bacharelado*. Departamento de Zoologia do Instituto de Biociências – UNESP, Botucatu, SP. 86p.
- TORELLO, F.F. 1999. *Bioestratigrafia de concentrações fossilíferas da assembléia de Pinzonella neotropica* (Reed), Formação Corumbataí (Permiano), Tambaú, SP. *Dissertação de Mestrado*. Universidade de São Paulo, 121p.
- TORELLO, F.F., SIMÕES, M.G., 1993. O significado paleoambiental de pelecípodes fósseis preservados com valvas articuladas abertas (“butterflyed”). *V Congresso de Iniciação Científica*, UNESP, Bauru, p. 80.
- TORELLO, F.F., SIMÕES, M.G. 1994. Características tafonômicas da assembléia de *Pinzonella illusa* Reed, Formação Corumbataí (Neopermiano), Bacia do Paraná, Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia*, 39: 159-173.

- TORELLO, F.F., SIMÕES, M.G. 1997. Concentrações fossilíferas da Formação Corumbataí (Permiano), Bacia do Paraná, na região de Tambaú, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 69, p. 282.
- TORELLO, F.F., SIMÕES, M.G., MELLO, L.H. 1997. On addition to the paleobiogeographic knowledge of the Passa Dois Group (Late Permian) pelecypods, Paraná Basin, Brazil. *Anais... 15º Congresso Brasileiro de Paleontologia*, São Pedro, SP. *Boletim de Resumos*, p.71.
- TROEDSON, A.L., RIDING, J.B. 2002. Upper Oligocene to lowermost Miocene strata of King George Island, South Shetland Islands, Antarctica; stratigraphy, facies analysis, and implications for the glacial history of the Antarctic Peninsula. *Journal of Sedimentary Research*, 72 (4): 510-523.
- TRUEMAN, E.R., BRAND, A.R., DAVIS, P. 1966. The effect of substrata and shell shape on the burrowing of some common bivalves. *Proceedings of the Malacological Society of London*, 37: 97-109.
- VALENTIN, J.L. 1995. *Agrupamento e ordenação*. In: PERES-NETO, P.R., VALENTIN, J.L., FERNANDEZ, F.A.S. 1995. *Oecologia Brasiliensis*. Programa de Pós-Graduação em Ecologia – Instituto de Biologia – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ: 135-149.
- WALKER, K.R., BAMBACH, R.K. 1971. The significance of fossil assemblages from fine-grained sediments: time-averaged communities. Geological Society of America. *Abstracts with Programs*, 3: 783-784.
- WELLS, J.W. 1967. Corals as bathometers. *Marine Geology*, 5: 349-365.
- WOOLF, B. 1957. The log likelihood ratio test (the G-Test) methods and tables for tests of heterogeneity in contingency tables. *Annals of human genetics*, 21: 397-409.
- WRIGHT, R., ANDERSON, J.B., FISCO, P.P. 1983. Distribution and association of sediment gravity flow deposits and glacial/glacial-marine sediments around the continental margin of Antarctica. In: Molnia, B.F. (ed.) (1983) *Glacial-Marine Sedimentation*, Plenum Press, New York: 265-300.
- YONGE, C.M. 1939. The protobranchiate Mollusca: A functional interpretation of their structure and evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B*, 230(566): 79-148.

ANEXO A. MODELO DE TABELA DE ASSINATURAS TAFONÔMICAS UTILIZADA EM CAMPO

Tabela de Assinaturas Tafonômicas

	Táxon	Cam.	Dat.	Q.	Orientação				Grau de desarticulação				Fragmentação			Biometria			Qualidade de preservação		Observações			
					in situ	Lado maior	Convexidade p/cima p/ baixo	Perp.	Obl.	Conc.	Artic.	A. aberta	A. fechada	Butt.	Desartic.	VD	VE	VI	S	N		C	A	L
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9																								
10																								
11																								
12																								
13																								
14																								
15																								
16																								
17																								
18																								
19																								
20																								
21																								
22																								
23																								
24																								
25																								
26																								
27																								
28																								
29																								
30																								

Legenda: **Cam.** Camada; **Dat.** Datum; **Q.** Quadrante; **S. N.**, Sim, Não; **Perp.** Obl. Conc., Perpendicular. Oblíquo; **Artic.** Articulada, **A. aberta.** Articulada aberta, **A. fechada.** Articulada fechada, **Butt.** Butterflied, **Desartic.** Desarticulada, **VD.** Valva direita, **VE.** Valva Esquerda, **VI.** Valva indeterminada; **C.** Comprimento, **A.** Altura, **L.** Largura; **Interm.** Intermediária.

ANEXO B. BIVALVES IDENTIFICADOS NA FORMAÇÃO CAPE MELVILLE

Ennucula frigida
valvas articuladas fechadas, X 2

Ennucula musculosa
valvas articuladas fechadas, X 2

Yoldia peninsularis
valvas articuladas fechadas, X 1

Neilo (Neilo) rongelii
valva esquerda, X 1

Panopea (P.) cf. *P. regularis*
valva esquerda, X 1

Periploma acuta
valvas articuladas fechadas, X 2

Limopsis psimolis
valvas articuladas fechadas, X 1