

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**TAXONOMIA DE INVERTEBRADOS FÓSSEIS (OLIGOCENO-
MIOCENO) DA ILHA REI GEORGE (ANTÁRTICA OCIDENTAL) E
PALEOBIOGEOGRAFIA DOS BIVALVIA CENOZÓICOS DA
ANTÁRTICA**

Fernanda Quaglio

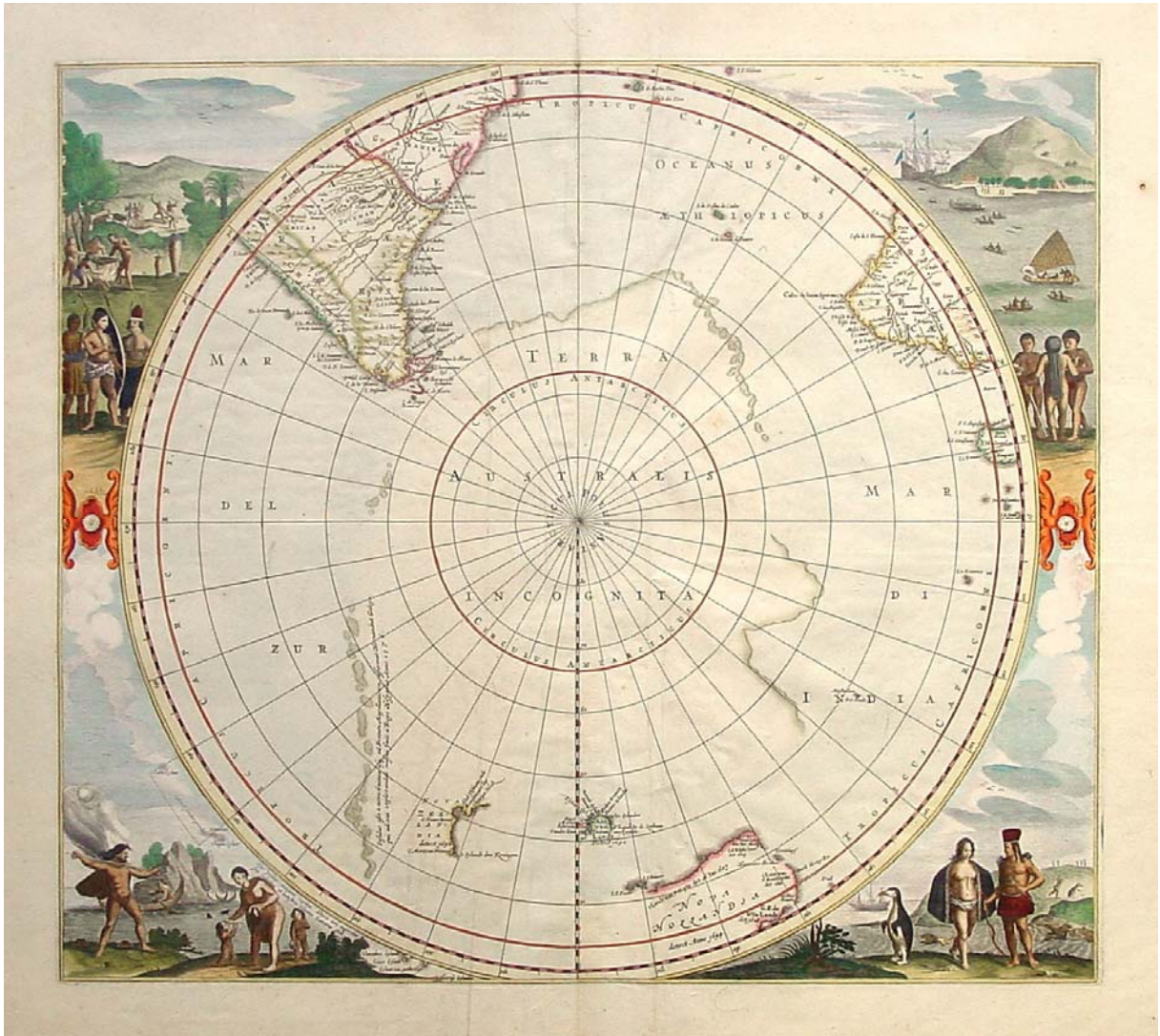
Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Anelli

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar

SÃO PAULO

2007



Polus Antarcticus State IV
 Hondius 1639

*Aos meus pais e irmã,
de cujo carinho me alimento para continuar*

Agradecimentos

Sou muito grata às diversas pessoas que acompanharam e contribuíam para meu aprendizado, não apenas durante este Mestrado, mas desde que cheguei ao Instituto de Geociências, em meados de 2003:

- Ao meu orientador prof. Dr. Luiz Eduardo Anelli, que me recebeu e acolheu desde o final de minha graduação, oferecendo-me a oportunidade de trabalhar com material antártico;

- Ao prof. Dr. Paulo Roberto dos Santos, coordenador do projeto ao qual meu Mestrado se inseriu, pelo apoio financeiro e irrestrito à realização deste Mestrado, pela amizade e por sempre estar disposto a discutir e considerar minhas opiniões;

- Ao prof. Dr. Thomas Rich Fairchild, pelas longas conversas sobre ciência e amenidades, pelas sugestões ao longo do desenvolvimento do projeto, e apoio durante minhas fases de desânimo;

- À profa. Dra. Wania Duleba, pelas sugestões sempre que precisei, pelos conselhos e conversas, pelas palavras certas nos momentos críticos e por quem nutro grande respeito e amizade;

- Ao prof. Dr. Setembrino Petri, pelas bibliografias e discussões, pelo exemplo de inteligência e vontade;

- Aos prof. Dr. Paulo César Fonseca Gianinni, André Sawakuchi, Renato Paes de Almeida, Cláudio Riccomini e Oswaldo Siga Jr.;

- À grande amiga Larissa Fontes, que me ajudou a seguir em frente quando tudo parecia ter acabado;

- À Marisa Monteiro, pela amizade, ajuda e confiança;

- Ao Lucas Veríssimo Warren, pela ajuda nas colunas e descrições geológicas, nas interpretações sedimentológicas, pelo apoio e amor ilimitados, por tudo que aprendi;

- À colega de sala Paula Andréa Sucerquia Rendón, pela companhia, amizade, sugestões e ajuda;

- Aos colegas e amigos Carlos Grohman, Letícia Vicente, Samar Steiner, Luis Fernando Roldan, Liliane Janikian e Andrés Bustamante pela amizade e apoio;

- Aos colegas Cléber Pereira Calça, Gabriel Luiz Perez Vieira, Rafael Casati, Rodrigo César Marques e Ricardo Pires Domingues, além de Luiz Fernando Zuleta e Fábio Pinheiro, pela ajuda e sugestões, pelas conversas durante o café e pelas “partidinhas” que amenizavam momentos de tensão;

- Ao funcionário Isaac Sayeg, pelo apoio e palavras amigas, e pela força nas atividades de laboratório;

- Aos funcionários Sandra, Elaine, Vasco, Flávio, Cláudio e Luiz pelo apoio nas atividades de laboratório e laminação;

- Aos funcionários Iolanda, Sônia, Luiz, Maurício e Solange pelo suporte nos trâmites financeiros;

- Aos funcionários Ana Paula, Magali, Tadeu e Telma, e às secretárias do GSA Soninha e Graça;

- Às funcionárias da biblioteca Érika, Brenda, Aline, Luciana, Maria e Sandra, pelas ajuda com os *comuts* e outras referências;

- Aos funcionários da informática Pedro e Erickson, pelo socorro em momentos de urgência;

- Aos funcionários Jaime, João, Marquinho, Manoel, Elias, Paulo e Celina.

Agradeço também à CAPES pelo suporte financeiro na forma de bolsa e ao CNPq/PROANTAR pelo apoio financeiro na realização das análises e viagens.

Agradeço especialmente aos meus pais, Aureliano e Nivea, pela confiança, pelo esforço e pelo exemplo de educação e família, e à minha irmã e grande amiga, Cibelle, a quem sempre admirei e quem me ensinou a ser crítica e obstinada.

“... the history of science can make your work seem more worthwhile to you. As a scientist, you’re probably not going to get rich. Your friends and relatives probably won’t understand what you’re doing. But you can get great satisfaction by recognizing that your work in science is a part of history.”

Steven Weinberg

Resumo

As pesquisas apresentadas nesta dissertação integram o projeto CNPq – PROANTAR 550352/02-3 “Mudanças paleoclimáticas na Antártica durante o Cenozóico: o registro geológico terrestre”, que estuda os depósitos cenozóicos da ilha Rei George em busca de elucidar o histórico ambiental e climático desta região antártica.

A evolução dos padrões de circulação marinha e atmosférica no Hemisfério Sul ocorreu em resposta ao isolamento geográfico e térmico da Antártica, resultado de sua separação da Austrália, no limite Eoceno/Oligoceno, e da América do Sul, no final do Oligoceno. Sob este aspecto, o estudo de organismos fósseis registrados nos depósitos cenozóicos da Antártica contribuiu para o entendimento das evoluções biológicas e ambientais ocorridas concomitantemente às mudanças paleogeográficas, oceanográficas e climáticas na região ao longo do Cenozóico.

Frente à dificuldade de acesso, demanda logística e extensa cobertura de gelo, apenas uma pequena porção do registro geológico da Antártica está acessível para pesquisa. Afloramentos da ilha Rei George registram as mudanças climáticas e ambientais ocorridas do Oligoceno ao Mioceno, incluindo evidências do primeiro evento de glaciação perene no oeste do continente (Oligoceno). Apesar da abundância de fósseis nos estratos cenozóicos da ilha, são poucos os trabalhos taxonômicos com descrição sistemática detalhada de bivalves fósseis.

O primeiro módulo do presente estudo apresenta a descrição taxonômica de invertebrados de depósitos cenozóicos aflorantes em duas localidades da ilha Rei George, Antártica ocidental. Da Formação Cape Melville (Mioceno), península Melville, foram descritos sete táxons de bivalves, incluindo seis espécies novas. Da Formação Polonez Cove (Oligoceno), Pico Vauréal, uma região previamente inexplorada paleontologicamente, foram descritos sete táxons de invertebrados (bivalves, braquiópodes, tubos de serpulídeos, briozoários e fragmentos de equinodermes), incluindo duas espécies novas.

O segundo módulo corresponde à reunião dos gêneros de bivalves registrados em depósitos cenozóicos da Antártica. A análise do registro apontou para o conhecimento bastante incipiente sobre a diversidade de bivalves antárticos ao longo do Cenozóico. Além disso, a comparação entre gêneros de bivalves cenozóicos registrados na Antártica e Nova Zelândia revelou que a maior parte dos gêneros compartilhados está registrada em depósitos eocênicos, o que suporta o isolamento geográfico da Antártica e a redução do intercâmbio faunístico entre a Antártica e regiões periféricas após o Oligoceno.

A análise do registro sugeriu um evento de dispersão intenso durante o Eoceno, e pequenos pulsos de dispersão após o Oligoceno. O padrão de distribuição dos táxons concorda parcialmente com as reconstituições de paleocorrentes disponíveis na literatura. A dispersão durante o Eoceno teria ocorrido da Antártica para a Nova Zelândia na direção do Atlântico para o Pacífico. Este evento de dispersão concorda com a hipótese de existência de conexões marinhas de plataforma rasa entre o oeste e o leste da Antártica (“Passagem de Shackleton”) e da província Weddelliana do final do Cretáceo ao Eoceno. Os eventos de dispersão pós-oligocênicos teriam ocorrido durante e após o estabelecimento da Corrente Circum-Antártica,

não mais pela “Passagem de Shackleton”, mas margeando a Antártica pelas bordas ocidental atlântica e oriental em direção à Nova Zelândia.

A análise do registro dos bivalves cenozóicos da Antártica também concorda com a hipótese de glaciação perene a partir do início do Oligoceno na região leste do continente, e na metade do Oligoceno na região oeste, com temperaturas mais amenas que as observadas atualmente.

Abstract

The research presented in this dissertation comprised part of the CNPq – PROANTAR Project 550352/02-3 “Mudanças paleoclimáticas na Antártica durante o Cenozóico: o registro geológico terrestre”, which studies Cenozoic deposits from King George Island in order to elucidate the environmental and climatic Cenozoic histories of this Antarctic region.

Cenozoic evolution of marine and atmospheric circulation in the Southern Hemisphere occurred in response to the geographic and thermal isolation of Antarctica, which resulted from the separation of Antarctica from Australia, around Eocene/Oligocene boundary, and from South America, during the late Oligocene. Thus, study of fossil organisms from Antarctic Cenozoic deposits contributes to the understanding of biological and environmental evolutions that accompanied paleogeographic, oceanographic and climatic changes during the Cenozoic.

As a result of the difficult access, logistic demand and extensive ice cover, only a small part of the Cenozoic Antarctic record is available for study. King George Island records climatic and environmental changes from the Oligocene to the Miocene, including evidence of the first full-scale glaciation (Oligocene) of West Antarctica. Despite the abundance of fossils in Cenozoic deposits of the island, taxonomic studies with detailed systematic descriptions of bivalves are very rare.

The first section of this work consists of taxonomic descriptions of invertebrates from Cenozoic deposits cropping out in two localities of King George Island, West Antarctica. Seven taxa of bivalves, including six new species were described from the Cape Melville Formation (Miocene), at Melville Peninsula. Seven taxa of invertebrates (bivalves, brachiopods, serpulid tubes, bryozoans, and echinoderm fragments) were described from the Polonez Cove Formation (Oligocene), at Vauréal Peak, a site previously unexplored paleontologically.

The second section presents the results of a survey of the Cenozoic fossil record of Antarctic bivalves. The analysis of the fossil record confirmed that the current knowledge about the Cenozoic diversity of the group is very scarce. Moreover, comparison of Cenozoic bivalve genera from Antarctica and New Zealand showed that the greatest number of shared taxa is recorded in Eocene deposits. This finding supports the geographic isolation of Antarctica and the drop in faunal interchange between Antarctica and periphery after the Oligocene.

Analysis of the fossil record suggested an intensive dispersal event during the Eocene, and restricted pulses of dispersal from the Oligocene onwards. The distribution pattern of taxa provides partial support for available reconstructions of marine currents. Eocene dispersal would have occurred from Antarctica to New Zealand in Atlantic-Pacific direction. This dispersal event is consistent with the hypothesis of shallow marine connections between West and East Antarctica (“Shackleton Seaway”), as well of the existence of the Weddellian Province from the Late Cretaceous to the Eocene. Dispersal events following the Oligocene would have occurred during and after the establishment of the Circum-Antarctic Current, along the West-Atlantic and East margins of Antarctica towards New Zealand, and no longer through “Shackleton Seaway”.

These analyses also support the hypothesis of full-scale glaciation in West Antarctica from the early Oligocene onwards, and in East Antarctica since the mid-Oligocene, with warmer temperatures than today.

Apresentação

O projeto desenvolvido ao longo deste triênio constou de dois módulos: paleontologia sistemática e estudo de padrões paleobiogeográficos. Sua execução foi materializada nesta dissertação em seis capítulos, além dos anexos referentes aos dois artigos preparados durante seu desenvolvimento.

O Capítulo 1 introduz ao leitor aspectos gerais relacionados ao conhecimento atual sobre os invertebrados cenozóicos da Antártica, bem como sua importância para o entendimento da evolução ambiental do continente. Este capítulo justifica a necessidade do presente estudo bem como os objetivos desta dissertação.

O Capítulo 2 aborda de forma generalizada a evolução geológica da Antártica desde o final do Cretáceo até o isolamento térmico do continente no Cenozóico. Ao final deste capítulo, estão destacados aspectos geológicos da ilha Rei George relacionados ao histórico glacial desta região da península Antártica.

O Capítulo 3 contempla de forma sintetizada a geologia das áreas de estudo. As descrições geológicas bem como as seções levantadas das formações Cape Melville e Polonez Cove constam nos anexos 4 e 5.

O Capítulo 4 refere-se ao primeiro módulo do projeto, e traz resumidamente a taxonomia dos invertebrados fósseis coletados nas formações Cape Melville e Polonez Cove aflorantes na ilha Rei George. Os artigos referentes a esta seção constam dos anexos 4 e 5.

O Capítulo 5, segundo módulo, abrange aspectos da diversidade de bivalves antárticos registrados para o Cenozóico, além do estudo comparativo dos gêneros de bivalves cenozóicos de ocorrência comum entre a Antártica e a Nova Zelândia. Neste capítulo, também são discutidas as possíveis rotas de dispersão que deram origem aos bivalves cenozóicos da Antártica.

Estão reunidas no Capítulo 6 as conclusões relativas às descrições taxonômicas e aspectos paleobiogeográficos da fauna de invertebrados estudada.

Vale ressaltar ao leitor que o primeiro anexo deste volume traz o mapa azimutal da Antártica e regiões periféricas, contendo todas as áreas referidas ao longo do texto e dos anexos.

Os anexos 4 e 5 trazem de forma detalhada as informações sintetizadas nos capítulos 3 e 4 sobre as descrições geológicas, análise faciológica das seções levantadas, bem como a taxonomia dos invertebrados tratados nesta dissertação.

O Anexo 4 corresponde ao artigo intitulado “Early Miocene bivalves from the Cape Melville Formation, King George Island, West Antarctica”, publicado na revista *Alcheringa*, e que descreve os bivalves coletados da Formação Cape Melville, ilha Rei George.

O Anexo 5 refere-se ao artigo “Invertebrates from the Low Head Member (Polonez Cove Formation, Oligocene) at Vauréal Peak, King George Island, West Antarctica”, aceito para publicação na revista *Antartic Science*, e que trata da taxonomia dos invertebrados da Formação Polonez Cove na área do pico Vauréal, ilha Rei George, bem como dos aspectos paleoecológicos e paleobiogeográficos dos bivalves e braquiópodes descritos.

Índice geral

CAPÍTULO 1 – Aspectos gerais	16
1.1. Introdução	16
1.2. Objetivos	20
CAPÍTULO 2 – Evolução geológica da Antártica durante o Cenozóico	21
2.1. Considerações iniciais	21
2.2. Resumo da paleogeografia da Antártica durante o final do Mesozóico	21
2.3. O isolamento antártico	23
2.3.1. A abertura da Passagem da Tasmânia	25
2.3.2. A abertura da Passagem de Drake	27
2.3.3. Declínio do gás carbônico atmosférico	28
2.3.4. Fatores de retroalimentação	29
2.3.5. O registro glacial da ilha Rei George	31
2.3.6. O isolamento térmico e os bivalves cenozóicos da Antártica ocidental	37
CAPÍTULO 3 – Geologia das áreas de estudo	40
3.1. Operação Antártica XXI: trabalhos de campo e geologia da Formação Cape Melville	40
3.2. Operação Antártica XXII: trabalhos de campo e geologia da Formação Polonez Cove	43
CAPÍTULO 4 – Paleontologia	46
4.1. Estudos prévios	46
4.1.1. O registro paleontológico da ilha Rei George	46
4.1.2. O registro paleontológico de outras regiões da península Antártica	48
4.2. Material estudado	49
4.2.1. Preparação dos exemplares fósseis	50
4.2.2. Captura de imagens	53
4.3. Sistemática taxonômica	53
4.3.1. Bivalves da Formação Cape Melville (Mioceno)	53
4.3.2. Invertebrados da Formação Polonez Cove, Membro Low Head (Oligoceno)	54
CAPÍTULO 5 – Afinidades paleobiogeográficas	56
5.1. Diversidade dos bivalves cenozóicos da Antártica	56
5.2. Padrão paleobiogeográfico	63
5.2.1. Estudos prévios	63
5.2.2. Afinidades e origem dos bivalves antárticos	68
5.3. Significado paleoclimático dos bivalves cenozóicos da Antártica	78
5.3.1. Leste da Antártica	78
5.3.2. Oeste da Antártica	79
CAPÍTULO 6 – Conclusões	81
6.1. Taxonomia	81
6.1. Paleobiogeografia	81
CAPÍTULO 7 – Bibliografia	83

Índice de figuras

- Figura 1:** Ilha Rei George. **A**, localização a oeste da península Antártica, Antártica ocidental. **B**, mapa da ilha; setas indicam as localidades abordadas neste estudo. **17**
- Figura 2:** Paleogeografia do Pacífico Sul durante o final do Cretáceo (90 - 70Ma; compilado de Zinsmeister 1982 e Lawver & Gahagan 2003). **22**
- Figura 3:** Dinâmica de circulação de águas superficiais na região Áustralo-Antártica do Eoceno médio ao Oligoceno final. **A**, o Istmo Tasmaniano ligava a Austrália à Antártica, impedindo a circulação de correntes frias em torno da margem oriental antártica. **B**, o início da subsidência do Istmo Tasmaniano e da abertura do Golfo Áustralo-Antártico para o Oceano Pacífico promoveu a circulação restrita de correntes frias em torno da margem oriental antártica. **C**, a abertura da passagem da Tasmânia permitiu a circulação da Corrente Circum-Antártica nesta região (reconstituição traduzida de Exon *et al.* 2001). **26**
- Figura 4:** O registro glacial da ilha Rei George. **A**, unidades litoestratigráficas cenozóicas da ilha Rei George. **B**, distribuição de depósitos glaciênicos cenozóicos da Ilha Rei George (baseado em Birkenmajer 2001, Troedson & Riding 2002 e Barker & Camerlenghi 2002). **BP**, Formação Boy Point; **DB**, Formação Destruction Bay; **DR**, Formação Dunikowski Ridge; **HH**, Formação Harnasie Hill; **MH**, Formação Martins Head; **SB**, Formação Sherrat Bay; **VP**, Formação Vauréal Peak. **33**
- Figura 5:** Diagrama sintetizando os principais eventos cenozóicos e fatores que levaram ao isolamento térmico da Antártica (discussão no texto). As caixas (eventos) estão organizadas de acordo com o tempo geológico, e as setas indicam a relação entre os eventos a partir do surgimento provável dos mesmos (síntese a partir de Bartek *et al.* 1992, Pagani *et al.* 1999, Toggweiler & Bjornsson 1999, Nong *et al.* 2000, Pearson & Palmer 2000, Exon *et al.* 2001, Zachos *et al.* 2001, Barker & Camerlenghi 2002, DeConto & Pollard 2003a, b, Livermore *et al.* 2004, Coxall *et al.* 2005, Pfuhl & Mc Cave 2005, Tripathi *et al.* 2005). **38**
- Figura 6:** Trabalhos de campo da Operação Antártica XXI. **A**, Localização da península Melville na Ilha Rei George, Antártica. **B**, localização dos sítiosossilíferos estudados da Formação Cape Melville na península Melville. **C**, extremidade oriental da península Melville. **D-E**, seção Lava Crag; **D**, afloramento; **E**, detalhe do bivalve *Neilo rongelii* “in situ”. **F-G**, seção Hard Ground; **F**, nívelossilífero; **G**, detalhe dos exemplares “in situ” dos bivalves *Ennucula frigida*. **H-I**, seção Chaminé; **H**, afloramento; **I**, detalhe do bivalve *Panopea* cf. *P. (Panopea) regularis* “in situ”. **J-M**, seção Pingüineira; **J**, afloramento (seta indica nívelossilífero); **L**, detalhe do nívelossilífero; **M**, detalhe dos exemplares “in situ” dos bivalves *Ennucula musculosa*. (fotos: L.E. Anelli). **41**
- Figura 7:** Formação Polonez Cove. **A**, localização do afloramento da Formação Polonez Cove no Pico Vauréal, ilha Rei George. **B**, seção da Formação Polonez Cove levantada no Pico Vauréal durante a Operação Antártica XXII. **C**, ocorrências da Formação Polonez Cove na ilha Rei George, entre o Cabo Vauréal e a Baía Rei George (modificado de Troedson & Smellie 2002 e Birkenmajer 2001). **D**, unidades litoestratigráficas da Formação Polonez Cove na área-tipo (de acordo com Troedson & Smellie 2002). **E**, afloramento estudado no Pico Vauréal. **F**, detalhe dos níveisossilíferos estudados. **G**, detalhe dos tubos de serpulídeos “in situ”. **H**, detalhe do bivalve *Adamussium* sp. nov. “in situ”. (fotos: L.E. Anelli). **45**
- Figura 8:** Diversidade em número de famílias e gêneros de bivalves registrados para a Antártica ao longo do Cenozóico (dados resumidos dos anexos 2 e 3). **57**
- Figura 9:** Diversidade em número de famílias e gêneros de bivalves registrados para a Nova Zelândia ao longo do Cenozóico (dados de Beu & Maxwell 1990). **i**, inicial; **m**, médio; **f**, final. **58**
- Figura 10:** Reconstituição da Província Weddelliana durante o final do Cretáceo (compilado de **65**

Zinsmeister 1979a, 1982 e Lawver & Gahagan 2003).

Figura 11: Correntes marinhas cenozóicas no Oceano Sul. **A**, Passagem de Shackleton (Zinsmeister 1979b). **B-D**, Reconstituições paleoceanográficas de Lazarus & Caulet (1993) e Lawver & Gahagan (2003). As setas pontilhadas indicam atuação de correntes fracas. Segundo Zinsmeister (1979b), o intercâmbio de faunas através da “Passagem de Shackleton” teria ocorrido do final do Cretáceo ao Eoceno médio. De acordo com Lazarus & Caulet (1993), a passagem de mar raso entre o Oeste e o Leste da Antártica teria existido do início do Oligoceno ao início do Mioceno, na direção Atlântico-Pacífico. Os dados de Lawver & Gahagan (2003) indicam que a passagem teria existido do Eoceno médio até possivelmente o Oligoceno inicial, na direção Pacífico-Atlântico. **67**

Figura 12: Distribuição temporal dos gêneros em comum entre a Antártica e a Nova Zelândia registrados para o Cenozóico. A linha pontilhada indica registro provável dos *Lazarus taxa*. **C** aponta os gêneros cosmopolitas (dados de Zinsmeister 1984, Pugaczewska 1984, Gazdzicki & Pugaczewska 1984, SOMBASE, Stilwell & Zinsmeister 1987, 2000, Zinsmeister & Macellari 1988, Studencka 1991, Stilwell 2000, 2002, 2003, Jonkers 2003, anexos 4 e 5). **71**

Figura 13: Número de gêneros em comum entre a Antártica e a Nova Zelândia cujo registro sugere dispersão. **75**

Figura 14: Padrão paleobiogeográfico de dispersão dos gêneros de bivalves cenozóicos registrados em comum para a Nova Zelândia e Antártica. **A**, Eoceno: primeiro pulso de dispersão da Antártica para a Nova Zelândia *via* “Passagem de Shackleton”. **B**, Oligoceno; **C**, Mioceno; **D**, Plioceno; **E**, Pleistoceno-Holoceno: pequenos eventos de dispersão da Nova Zelândia para a Antártica (seta azul) e da Antártica para a Nova Zelândia (seta laranja) *via* Corrente Circum-Antártica. **76**

Quadro

Quadro 1: Números de famílias, gêneros e espécies de bivalves antárticos por unidade geológica (**Un**) e total (**T**) registrados para cada intervalo do Cenozóico (dados resumidos dos anexos 2 e 3). **56**

Anexos

Anexo 1: Mapas com as localidades citadas no texto e anexos. **A**, Projeção azimutal equidistante do Pólo Sul, com as áreas abrangidas pela Convergência Antártica e adjacências (compilado de Zinsmeister 1982 e projeção cedida por J. P. Rodrigue, Universidade de Hofstra, Hempstead, Nova Iorque). **B**, Norte da península Antártica. **C**, ilha Rei George (modificado de Birkenmajer 2001). **D**, região entre o cabo Vauréal e a baía Rei George, ilha Rei George (modificado de Troedson & Riding 2002). **E**, península Melville, ilha Rei George (modificado de Birkenmajer 2001).

Anexo 2: Espécies de bivalves fósseis cretácicos e cenozóicos provenientes da Antártica.

Anexo 3: Espécies de bivalves recentes registrados na área da Convergência Antártica (dados da SOMBASE).

Anexo 4: *artigo 1* - ANELLI, L.E., ROCHA-CAMPOS, A.C., SANTOS, P.R., PERINOTTO, J.A.J. & QUAGLIO, F. 2006. Early Miocene bivalves from the Cape Melville Formation, King George Island, West Antarctica. *Alcheringa* **30**: 111-132.

Anexo 5: *artigo 2* - 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*.

CAPÍTULO 1 – Aspectos gerais

1.1. Introdução

As regiões austrais do Hemisfério Sul sofreram alterações ambientais profundas ao longo do Cenozóico, em resposta a dois eventos tectônicos que resultaram no isolamento geográfico da Antártica: a separação entre a Antártica e a Austrália, no limite Eoceno/Oligoceno, e a separação entre a Antártica e a América do Sul, no Oligoceno final (Barker & Burel 1977, Kennett 1977, Toggweiler & Bjornsson 1999, Nong *et al.* 2000, Exon *et al.* 2001, Barker 2001). A reorganização das correntes oceânicas e atmosféricas resultantes da nova configuração geográfica, bem como a formação dos mantos de gelo na Antártica, contribuíram para os novos padrões ambientais e climáticos da região, culminando no isolamento térmico do continente (Barker & Thomas 2004). As mudanças resultantes do isolamento geográfico e térmico da Antártica afetaram profundamente a evolução biótica ao longo do Cenozóico para os padrões modernos de biodiversidade e de distribuição biogeográfica observados nas regiões antártica e subantártica (Bartek *et al.* 1992, Crame 1999, Exon *et al.* 2001).

Os vários aspectos relacionados ao histórico ambiental cenozóico da Antártica, tais como clima, biota, geologia, dinâmica de circulação oceânica e atmosférica, têm sido objeto de controvérsia ao longo de anos em estudos realizados no continente. Isto, em parte, deve-se à dificuldade de acesso e demanda logística de exploração ao extenso território (cerca de 14 milhões de km²) e, portanto, da natureza fragmentária das pesquisas científicas até hoje realizadas. Além disso, cerca de 98% do continente está coberto por gelo (Birkenmajer 2001), de tal sorte que apenas uma pequena porção do registro geológico está acessível para pesquisa e em poucas ocorrências no continente.

Dentre estas, está a península Antártica, situada a oeste do continente (Fig. 1A). Coberta por volume menor de gelo relativamente ao restante do continente, esta região inclui diversas localidades com rochas aflorantes que registram parte da história glacial da região. Ao extremo oeste da península, na ilha Rei George (Fig. 1B), encontram-se alguns dos registros cenozóicos mais completos das mudanças climáticas e ambientais ocorridas do Oligoceno ao Mioceno (Birkenmajer 1996).

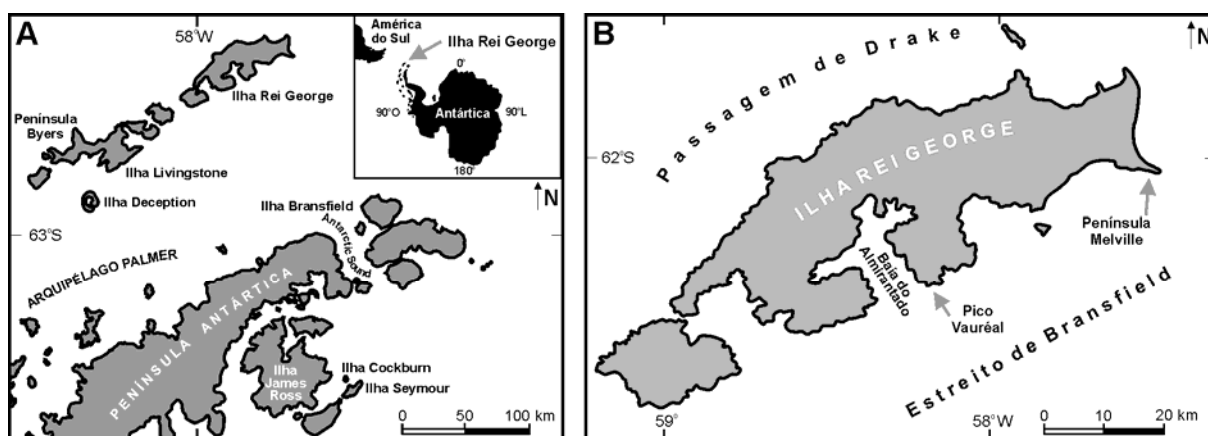


Figura 1: Ilha Rei George. **A**, localização a oeste da península Antártica, Antártica ocidental. **B**, mapa da ilha; setas indicam as localidades abordadas neste estudo.

Os trabalhos sobre estratigrafia, idade, paleogeografia e paleontologia dos estratos glaciais da ilha Rei George iniciaram-se ainda em meados da década de 80, com grande contribuição de Birkenmajer (*e.g.* Birkenmajer 1982a, b, 1984, 2001, 2003). Desde então, a descrição de vários táxons fósseis coletados em afloramentos da ilha Rei George tem contribuído para o conhecimento da diversidade cenozóica de vários grupos taxonômicos da região (Gazdzicki 2003), incluindo nanoplânctons (Dudziak 1984), palinórfos (Troedson & Riding 2002), foraminíferos (Birkenmajer & Luczkowska 1987), corais (Roniewicz & Morycowa 1987), briozoários (Hara 1994), braquiópodes (Biernat *et al.* 1985, Wiedman *et al.* 1988, Bitner & Crame 2002), bivalves (Gazdzicki & Pugaczewska 1984, Pugaczewska 1984, Zinsmeister 1984, Zinsmeister & Macellari 1988, Studencka 1991), gastrópodes (Karczewski 1987, Zinsmeister & Camacho 1980), cefalópodes (Birkenmajer *et al.* 1987b), equinodermos

(Jesioneck-Szymanska 1987), crustáceos (Föster *et al.* 1987, Feldman & Crame 1998, Feldmann & Gazdzicki 1997, 1998) e plantas (Birkenmajer & Zastawniak 1986).

A despeito da abundância de fósseis nos estratos cenozóicos da ilha (Birkenmajer 1982a, b, 1984, Birkenmajer *et al.* 1987a, Troedson & Riding 2002, Quaglio *et al.* 2003, 2004), as publicações concernentes à fauna de bivalves limitam-se a escassos registros, e poucos são os trabalhos taxonômicos com descrição sistemática detalhada dos fósseis.

Dentre os trabalhos taxonômicos, apenas três descreveram bivalves fósseis coletados na ilha Rei George. Gazdzicki & Pugaczewska (1984) identificaram 28 espécies coletadas em uma coquina de pectinídeos (“pecten conglomerate”) da Formação Polonez Cove (Oligoceno) na área de Low Head. Pugaczewska (1984) descreveu três espécies do Oligoceno de Magda Nunatak, baía Rei George. Studencka (1991) identificou três espécies e descreveu nova espécie da Formação Destruction Bay, em Wrona Buttress.

Para outras regiões da Península Antártica, o registro fóssil de bivalves está descrito de forma mais completa. Zinsmeister (1984) identificou 11 espécies e erigiu 22 novas espécies de bivalves coletados em rochas da Formação La Meseta (Eoceno final), ilha Seymour. Ainda na ilha Seymour, Zinsmeister & Macellari (1988) identificaram 18 espécies e propuseram 15 novas espécies para as formações López de Bertodano e Sobral (Paleoceno). Posteriormente, Jonkers (2003) reestudou quatro gêneros de pectinídeos cenozóicos, incluindo diversas localidades no sul da América do Sul, Antártica e ilhas próximas à Convergência Antártica, Nova Zelândia e Tasmânia. Este autor reestudou um total de 22 espécies, incluindo dois gêneros novos e quatro espécies novas. Stilwell & Zinsmeister (1987) identificaram oito espécies de bivalves da Formação Snow Hill Island, seis da Formação La Meseta e três espécies da Formação Cockburn Island, todas aflorantes na ilha Cockburn. As regiões acima referidas constam no mapa do Anexo 1 e as espécies descritas pelos autores supracitados com seus respectivos dados de proveniência estão listados no Anexo 2.

É importante salientar que os bivalves correspondem a um dos grupos de macroinvertebrados mais diversificados e globalmente distribuídos ao longo do Fanerozóico, com história evolutiva relacionada a *habitats* bastante diversos. Além disso, durante o estágio pelágico de larva, os bivalves são capazes de se dispersar por longas distâncias por correntes oceânicas (Scheltema 1977), colonizando novos ambientes, como por exemplo, aqueles originados após eventos de abertura de passagens oceânicas.

Frente a isso, o estudo desse importante componente da fauna de invertebrados justifica-se por colaborar para o entendimento de vários aspectos relacionados às mudanças paleogeográficas, ambientais e climáticas ocorridas na região antártica durante o Cenozóico. Como reconhecido anteriormente por Zinsmeister (1982) e Crame (1992), a sistemática taxonômica obtida por meio da descrição morfológica dos bivalves coletados nos estratos cenozóicos da ilha permite o conhecimento da diversidade biológica e a interpretação da paleoecologia desta fauna, revelando as mudanças nas condições paleoambientais e paleoclimáticas ocorridas durante o início do Cenozóico. Além disso, a comparação desta diversidade com malacofaunas coetárias de regiões periféricas à Antártica é fundamental para o delineamento das rotas migratórias e da evolução paleobiogeográfica das linhagens que deram origem aos bivalves antárticos em resposta às mudanças ambientais ocorridas após o isolamento geográfico e térmico do continente.

Organizações internacionais que tratam da pesquisa científica na Antártica e regiões periféricas, como o SCAR (*Scientific Committee for Antarctic Research*), têm incentivado estudos sobre a dinâmica climática e de biodiversidade antártica tendo em vista o entendimento do histórico paleoambiental e das rotas de dispersão que deram origem à fauna moderna das regiões antártica e subantártica (LSSSG 2004). Inserido nesse contexto, o presente trabalho representa uma vertente dos estudos investigativos em busca da elucidação das dinâmicas geológica, paleoclimática e paleoambiental dos estratos cenozóicos da ilha Rei

George, Antártica, ao integrar o projeto CNPq – PROANTAR 550352/02-3 “Mudanças paleoclimáticas na Antártica durante o Cenozóico: o registro geológico terrestre”, coordenado pelo Prof. Paulo Roberto dos Santos do Instituto de Geociências - USP.

1.2. Objetivos

Considerando o conhecimento incipiente da diversidade dos bivalves cenozóicos da Antártica Ocidental, bem como a importância dos invertebrados cenozóicos da ilha Rei George no contexto das mudanças paleoambientais resultantes do isolamento térmico do continente, esta dissertação tem como objetivos:

1 – A descrição taxonômica dos invertebrados do Membro Low Head da Formação Polonez Cove, na área do pico Vauréal, ilha Rei George;

2 – A descrição taxonômica dos bivalves da Formação Cape Melville, península Melville, ilha Rei George;

3 – O delineamento do padrão paleobiogeográfico e rotas de dispersão que deram origem às diversas faunas de bivalves cenozóicos da ilha Rei George.

CAPÍTULO 2 – Evolução geológica da Antártica durante o Cenozóico

2.1. Considerações iniciais

Como comentado no Capítulo 1, as aberturas das passagens da Tasmânia e de Drake, durante o final do Paleógeno, resultaram em alterações ambientais profundas no continente que influenciaram a configuração biótica das regiões austrais do Hemisfério Sul (Bartek *et al.* 1992, Exon *et al.* 2001, Barker & Thomas 2004). Por este motivo, estudos sobre taxonomia e paleobiogeografia de quaisquer grupos fósseis presentes nas regiões Antártica e subantártica, em qualquer intervalo de tempo do Cenozóico, devem considerar a dinâmica tectônica e paleoceanográfica do Oceano Austral como arcabouço para a evolução da sua configuração biótica. Desta forma, este capítulo apresenta as principais discussões a respeito do isolamento geográfico e térmico da Antártica, e servirá de base para as análises taxonômica e paleobiogeográfica desenvolvidas, respectivamente, nos capítulos 4 e 5 da presente dissertação.

2.2. Resumo da paleogeografia da Antártica no final do Mesozóico

Durante boa parte do Mesozóico, o continente Gondwana formava uma massa terrestre contínua ao longo da margem sul do Oceano Pacífico (Hay *et al.* 1999). Zinsmeister (1987) dividiu geograficamente o setor sul do Gondwana em duas regiões, a leste e oeste das Montanhas Transantárticas. O setor leste refere-se à região compreendida entre Austrália-Nova Guiné, Nova Zelândia e leste da Antártica. O setor oeste compreende a região de Marie Byrd Land, península Antártica e o sul da América do Sul (Fig. 2, Anexo 1).

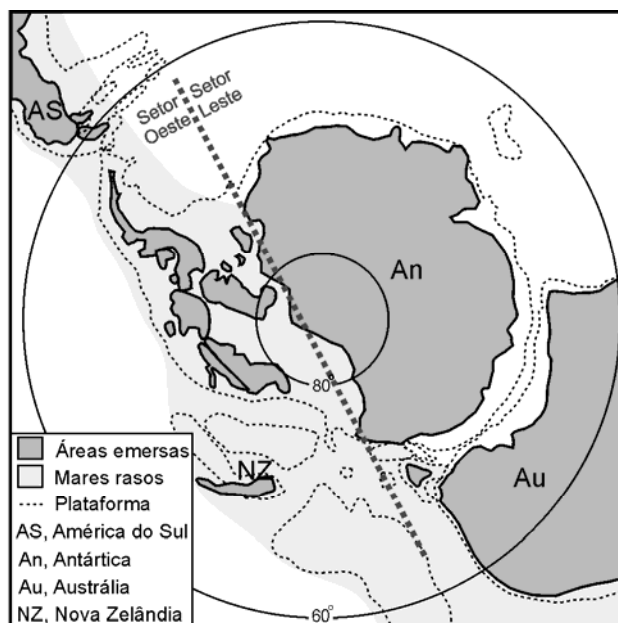


Figura 2: Paleogeografia do Pacífico Sul durante o final do Cretáceo (90 - 70Ma; compilado de Zinsmeister 1982 e Lawver & Gahagan 2003).

Durante a maior parte do Cretáceo, o setor leste consistia em um craton extenso. A partir do final deste período, grande parte dos mares rasos se aprofundou, restando apenas as bacias australianas Carnarvon e Otway (Zinsmeister 1987; Anexo 1), enquanto que, na região da Nova Zelândia, diversas áreas emersas resultantes de eventos de dobramento e soerguimento mantinham-se separadas do craton (Bradshaw 1991, Larter *et al.* 2002; Fig. 2).

Já o setor oeste consistia de um arco magmático (sul da América do Sul e península Antártica) localizado em uma zona de subducção ao longo da margem pacífica ocidental e de diversos blocos crustais (da base da península à região de Marie Byrd Land, Anexo 1) conectando o arco ao craton (Storey 1991, Jokat *et al.* 1997; Fig. 2). Durante o Cretáceo, o sul da América do Sul correspondia a uma margem continental ativa que sofreu diversos eventos de soerguimento e erosão como resultado do fechamento da bacia marginal originada durante o Jurássico médio (Jokat *et al.* 1997), o que permitiu o desenvolvimento de mares rasos entre o Pacífico Sul e o Atlântico Sul (Zinsmeister 1987). Da mesma forma, a península Antártica, no fim do Cretáceo e início do Cenozóico, consistia de um cinturão montanhoso em estado ativo de soerguimento e erosão, com pequenas passagens que ligavam os oceanos Pacífico e

Atlântico (Zinsmeister 1987). A região leste da Antártica teria sofrido, até o final do Cretáceo, vários episódios magmáticos e orogênicos, resultando em diversas áreas emersas separadas por passagens marinhas marginais às montanhas Ellsworth e Whitmore, Ilha Thurston, Marie Byrd Land (Anexo 1) e margem sul da península Antártica (Lawver *et al.* 1991). A região do platô Campbell localizava-se próxima à região de Marie Byrd Land, Antártica (Bradshaw 1991, Larter *et al.* 2002; Anexo 1, Fig. 2). O setor oeste, portanto, estava ocupado por um conjunto imbricado de pequenas ilhas montanhosas, cercadas por mares rasos, o que facilitava o intercâmbio biótico de organismos plantônicos por mares rasos entre a porção ocidental da Antártica e sul da América do Sul.

2.3. O isolamento antártico

Muito embora a Antártica já estivesse suscetível a clima polar desde que alcançou o pólo Sul, há aproximadamente 120 Ma, no início do Cretáceo (DiVenere *et al.* 1994), o esfriamento intenso do continente dependeu diretamente do seu isolamento geográfico (Bartek *et al.* 1992, Barker & Thomas 2004), que ocorreu milhões de anos mais tarde, durante o final do Paleógeno. O isolamento geográfico da Antártica está ligado a dois eventos tectônicos: as aberturas das passagens da Tasmânia e de Drake, ocorridas, respectivamente, no limite Eoceno/Oligoceno e no início do Oligoceno (Barker & Burrell 1977, Kennett 1977, Toggweiler & Bjornsson 1999, Nong *et al.* 2000, Exon *et al.* 2001, Barker 2001).

O isolamento térmico, resultante direto desse isolamento geográfico, está representado pelos atuais mantos de gelo que cobrem virtualmente toda a Antártica (aqui denominados glaciação perene ou em larga escala), e que foram condicionados, além dos eventos tectônicos responsáveis pelo isolamento geográfico, também por eventos de retroalimentação, como dinâmica de correntes marinhas e de circulação atmosférica, efeitos do albedo, e queda na concentração de gás carbônico (CO₂) (Bartek *et al.* 1992, Zachos *et al.* 2001, DeConto &

Pollard 2003a, b, Barker & Thomas 2004). Estudos sobre o isolamento térmico da Antártica consideram cada um desses fatores como tendo sido de maior ou menor importância. Porém, os cenários propostos costumam considerá-los todos como determinantes para o esfriamento do continente.

Segundo Haq *et al.* (1987), uma das maiores quedas do nível do mar registradas para o Cenozóico teria ocorrido durante o início do Oligoceno, o que corrobora a glaciação antártica em larga escala nessa época. Além disso, outros dados globais do Oligoceno inicial, como o declínio da paleotemperatura sugerido pela razão magnésio/cálcio (Lear *et al.* 2000), da concentração de CO₂ atmosférico, e da profundidade da zona de compensação de carbonato (Pearson & Palmer 2000, Tripartti *et al.* 2005), além da excursão negativa da curva isotópica de oxigênio (Zachos *et al.* 19945, 2001), são interpretados como resultantes do início do esfriamento do continente.

Estudos desenvolvidos a partir de dados provenientes do continente antártico confirmam as interpretações dos dados globais. A glaciação perene teria se desenvolvido na região leste da Antártica durante a transição Eoceno/Oligoceno (33,8 Ma, Dingle & Lavelle 1998b) ou Oligoceno inicial (Wise 2000, Coxall *et al.* 2005, Tripartti *et al.* 2005), desencadeada pela circulação de correntes frias nesta região após a abertura da passagem da Tasmânia (Exon *et al.* 2001). Esta interpretação é corroborada por dados sísmicos da região do Mar de Ross (Anexo 1), que sugerem mudança de clima temperado/temperado glacial para polar glacial nesta região do leste da Antártica durante o início do Oligoceno (Alley *et al.* 1989).

Os mantos de gelo teriam alcançado o oeste ainda no início do Oligoceno, de acordo com dados isotópicos (Dingle & Lavelle 1998b) e sedimentológicos (Santos *et al.* 1990, Birkenmajer 1996, Troedson & Smellie 2002) registrados nos depósitos cenozóicos da ilha Rei George. A glaciação do oeste teria ocorrido em consequência à glaciação do leste, provavelmente relacionada à abertura da passagem de Drake (Toggweiler & Bjornsson 1999,

Nong *et al.* 2000), e ao estabelecimento da Corrente Circum-Antártica (Livermore *et al.* 2004, Pfuhl & Mc Cave 2005).

2.3.1. A abertura da passagem da Tasmânia

O primeiro fator responsável pelo esfriamento antártico foi a abertura da passagem da Tasmânia, ocorrida como consequência da separação entre a Antártica e a Austrália, durante o final do Paleógeno (Exon *et al.* 2001, Lawver & Gahagan 2003). Este evento desencadeou a circulação de correntes marinhas frias em torno da margem oriental pacífica da Antártica, em detrimento de correntes superficiais mais quentes provenientes da margem nordeste da Austrália. De acordo com os resultados de Exon *et al.* (2001), até o final do Eoceno, o Istmo Tasmaniano (“Tasmanian Land Bridge”) bloqueava completamente a extremidade Oriental do Golfo Áustralo-Antártico, impedindo assim a circulação de correntes frias em torno da margem antártica nas regiões de Adelie Land e Victoria Land (Anexo 1), enquanto a Corrente Australiana do Leste era responsável pela manutenção de um clima ameno nas regiões próximas à margem ocidental da Antártica (Fig. 3A).

Ainda segundo o cenário proposto por Exon *et al.* (2001), um evento de rifteamento entre o final do Jurássico e o Eoceno médio na área compreendida entre a margem norte da Austrália e a região da Antártica, próxima a Adelie Land e Victoria Land, deu início ao deslocamento da Austrália para noroeste. Este evento causou a abertura do Golfo Áustralo-Antártico para o Oceano Pacífico durante o final do Eoceno e, conseqüentemente, o início de uma transgressão marinha na região (Fig. 3B, GAA). Do início do Paleoceno até o limite Eoceno/Oligoceno, o Istmo Tasmaniano foi deslocado para nordeste, e sua porção sul sofreu subsidência. Como consequência, a abertura da passagem da Tasmânia no limite Eoceno/Oligoceno - datada de 33,7 Ma por Exon *et al.* (2001) - permitiu a circulação, ainda

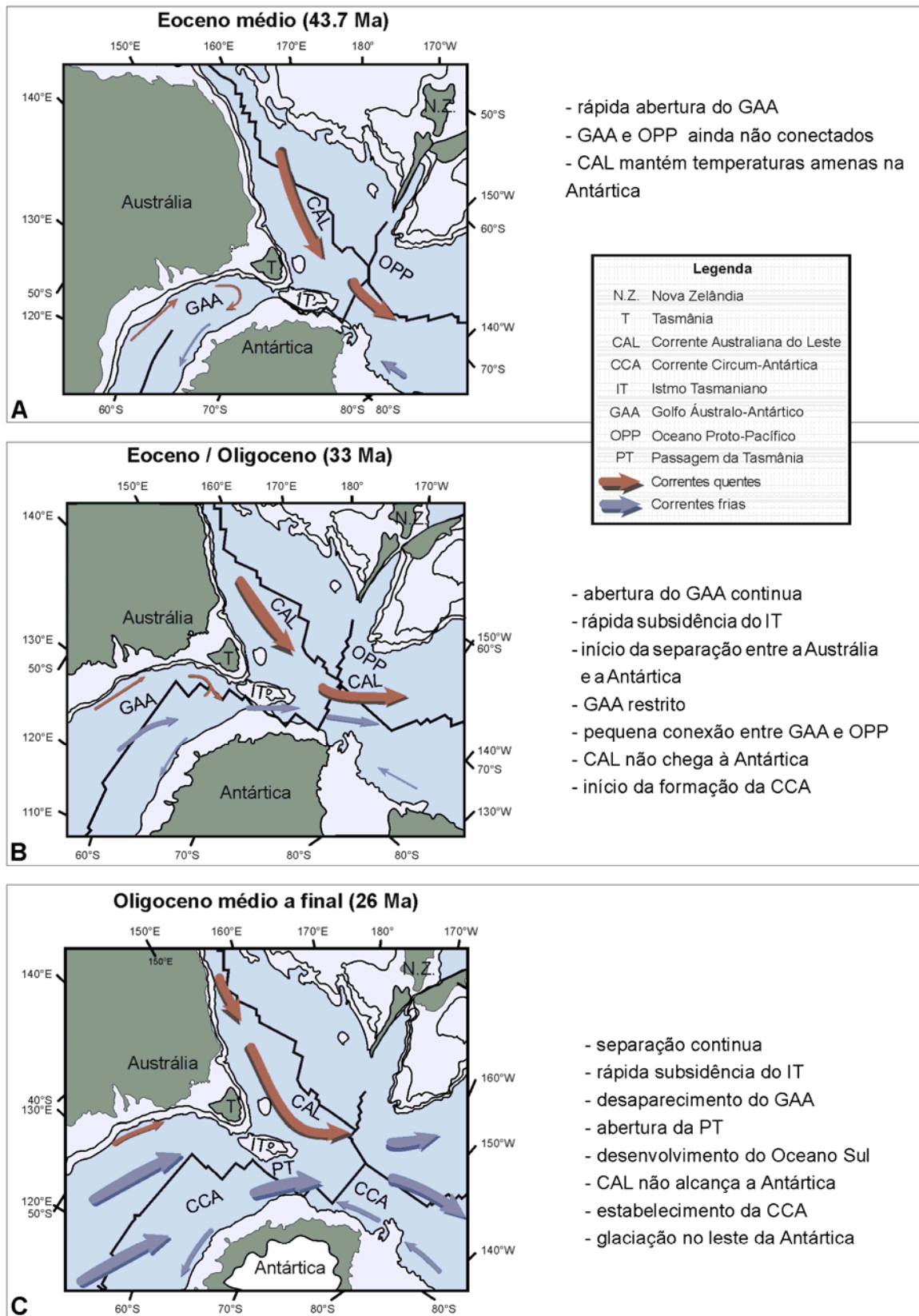


Figura 3: Dinâmica de circulação de águas superficiais na região Áustralo-Antártica do Eoceno médio ao Oligoceno final. **A**, o Istmo Tasmaniano ligava a Austrália à Antártica, impedindo a circulação de correntes frias em torno da margem oriental antártica. **B**, o início da subsidência do Istmo Tasmaniano e da abertura do Golfo Áustralo-Antártico para o Oceano Pacífico promoveu a circulação restrita de correntes frias em torno da margem oriental antártica. **C**, a abertura da passagem da Tasmânia permitiu a circulação da Corrente Circum-Antártica nesta região (reconstituição traduzida de Exon *et al.* 2001).

que restrita, de correntes marinhas frias em torno da margem ocidental pacífica da Antártica (Fig. 3B, IT). Esta reorganização no padrão de circulação marinha resultou em novas vias possíveis de dispersão de organismos plantônicos, como discutido no Capítulo 5.

No final do Oligoceno, a passagem da Tasmânia já possuía centenas de quilômetros de extensão, o que permitiu a circulação superficial e profunda da Corrente Circum-Antártica (Fig. 3C, CCA). Ainda de acordo com Exon *et al.* (2001), este evento tectônico marcou a transição climática global da condição de efeito estufa (“greenhouse”) para efeito refrigerador (“icehouse”), este último presente até os dias atuais.

2.3.2. A abertura da passagem de Drake

Alguns estudos propuseram que o isolamento térmico do continente como conseqüência da glaciação perene no oeste da Antártica teria ocorrido somente a partir da passagem de correntes profundas na região após o Oligoceno, ou seja, após a abertura da passagem de Drake e o estabelecimento da Corrente Circum-Antártica (Barker & Burrell 1977, Kennett 1977, Toggweiler & Bjornsson 1999, Nong *et al.* 2000, Barker 2001). De acordo com Toggweiler & Bjornsson (1999), a circulação de correntes frias em torno da Antártica diminuiu ou mesmo bloqueou o transporte de calor por correntes marinhas e atmosféricas para a região após o final do Oligoceno, o que, por sua vez, contribuiu para a circulação de correntes frias. Este fenômeno de retroalimentação seria o responsável pela manutenção dos mantos de gelo e, portanto, pelo isolamento térmico do continente (Toggweiler & Bjornsson 1999, Nong *et al.* 2000).

Contudo, vale ainda mencionar que o evento de isolamento térmico da Antártica não é um assunto totalmente desprovido de controvérsias. Há evidências que sugerem o estabelecimento da Corrente Circum-Antártica ainda no final do Oligoceno (*e.g.* 24 Ma, Livermore *et al.* 2004, Pfuhl & Mc Cave 2005). Por outro lado, a presença de cristas no

assoalho oceânico e fragmentos de crosta continental, remanescentes da evolução da zona de fratura Shackleton (“Shackleton Fracture Zone”) no Mar de Scotia (Anexo 1), teriam bloqueado a passagem das correntes até o início do Mioceno (20-22 Ma, Barker & Burrell 1977, Lear *et al.* 2000, Eagles & Livermore 2002). Esta nova abertura de passagem oceânica no Hemisfério Sul, com o estabelecimento da Corrente Circum-Antártica representou novo mecanismo de dispersão para organismos plantônicos. De fato, como discutido no Capítulo 5, Beu *et al.* (1997), consideraram que a abertura da passagem de Drake representou o primeiro evento de dispersão de moluscos da Nova Zelândia para o sul da América do Sul, *via* Corrente Circum-Antártica.

2.3.3. Declínio do gás carbônico atmosférico

Vários autores têm sugerido que o principal evento climático responsável pelo esfriamento do continente foi o declínio do CO₂ atmosférico durante o Paleógeno (Pagani *et al.* 1999, Pearson & Palmer 2000, DeConto & Pollard 2003a, b), enquanto que a circulação de correntes marinhas frias em torno da Antártica (Corrente Circum-Antártica), promovida após as aberturas das passagens da Tasmânia e de Drake, teria um papel secundário na glaciação do continente (Barker & Thomas 2004). Realmente, e de acordo com Pearson & Palmer 2000, verifica-se que o declínio na concentração de CO₂ atmosférico provocou queda na temperatura ao longo de intervalos de tempo em escala geológica. Por este motivo, o declínio do CO₂ atmosférico, observado ao longo do Paleógeno, teria sido responsável pela mudança climática de efeito estufa para refrigerador durante o início do Neógeno.

De acordo com Tripathi *et al.* (2005), eventos curtos de glaciação local teriam ocorrido em todo o continente desde o final do Eoceno, embora a glaciação perene tenha ocorrido após o início do Oligoceno. Os picos observados na curva isotópica de oxigênio (Zachos *et al.* 1994, 2001, Tripathi *et al.* 2005), interpretados como flutuações dos mantos de gelo, poderiam

ser reflexo da reorganização do ciclo de carbono, com aumentos e declínios abruptos na concentração de CO₂ durante o final do Eoceno (Pearson & Palmer 2000, DeConto & Pollard 2003a, b). No entanto, Zachos *et al.* (2001) argumentaram que o declínio na concentração de CO₂ provocaria queda de umidade, o que dificultaria a precipitação de neve e, portanto, a glaciação perene e em larga escala na Antártica.

2.3.4. Fatores de retroalimentação

De acordo com o registro isotópico de oxigênio (Miller *et al.* 1987, Lear *et al.* 2000, Zachos *et al.* 2001), os mantos de gelo da Antártica teriam se desenvolvido de forma intermitente e experimentado flutuações entre o Paleógeno e a maior parte do Neógeno (Webb *et al.* 1984, Tripathi *et al.* 2005). Bartek *et al.* (1992) sugeriram que essas flutuações estão relacionadas a fatores de retroalimentação, como albedo e colapso de mantos de gelo marinhos.

Bartek *et al.* (1992) afirmaram que, durante períodos de expansão de gelo, o albedo pode aumentar o resfriamento, por intensificar a ação do sistema atmosférico de alta pressão polar (“Polar High”) que, por sua vez, desloca o sistema de baixa pressão (“Subpolar Low”) para fora do continente, retardando o transporte de ar úmido para o continente e, por conseqüência, a expansão do gelo. De acordo com os autores (Bartek *et al.* 1992), esse fenômeno é observado durante intervalos nos quais condições climáticas produzem sistemas de baixa pressão atmosférica e ventos em direção ao continente sobre superfícies de águas relativamente quentes. Condições climáticas como essas ocorreram no Eoceno médio, como sugerido por dados isotópicos de oxigênio (Miller *et al.* 1987, Zachos *et al.* 1994).

O deslocamento de massas de ar úmido como conseqüência da reorganização do padrão de circulação atmosférica após aberturas de grandes passagens oceânicas é um fenômeno que também pode participar na retroalimentação de eventos glaciais. Ainda segundo Bartek *et al.*

(1992), no caso da região antártica, a abertura de passagens, como as da Tasmânia e de Drake, reduziria a continentalidade na região adjacente, permitindo o transporte de massas de ar úmido provenientes do oceano em direção ao continente frio, e a subsequente precipitação de neve e o desencadeamento de glaciação.

Outro fator de retroalimentação apontado por Bartek *et al.* (1992) está relacionado ao avanço e recuo de geleiras. Os mantos de gelo marinhos possuem o ponto de equilíbrio abaixo do nível do mar, e mudanças na posição relativa deste ponto podem causar a desintegração do gelo e sua retração. Esse fenômeno provoca o enfraquecimento da ação do albedo, posicionando novamente o sistema de baixa pressão sobre o continente, e restaurando o sistema na fase de glaciação.

Zachos *et al.* (2001) sugeriram que, durante intervalos nos quais as regiões polares estão parcialmente cobertas por gelo, como durante o Oligoceno, os mantos são altamente sensíveis a mudanças na obliquidade da Terra. Assim, os picos de glaciação e deglaciação observados na curva isotópica de oxigênio estariam relacionados com ciclos orbitais, sendo que eventos de glaciação seriam favorecidos durante intervalos nos quais a incidência solar é menor. A hipótese dos ciclos orbitais explicaria por que a glaciação em larga escala teria sido desencadeada no início do Oligoceno, e não desde o final do Eoceno. No entanto, este modelo não é completamente aplicável para dados obtidos em depósitos anteriores ao Plio-Pleistoceno (Tripathi *et al.* 2005).

Independentemente da causa principal que favoreceu o esfriamento antártico, o isolamento geográfico e térmico da Antártica afetou a configuração biótica para os padrões pós-miocênicos. Enquanto a evolução paleogeográfica resultou num novo regime de circulação marinha que delineou a distribuição paleobiogeográfica dos organismos, especialmente os plantônicos, o esfriamento antártico afetou a diversidade por modificar as

condições ambientais da região. É nesse contexto que as demais seções desta dissertação estão balizados.

2.3.5. O registro glacial da ilha Rei George

Localização

A ilha Rei George localiza-se a oeste do continente antártico, no arquipélago Shetland do Sul (62° S, 58° O), e possui 95km de extensão por 25km de largura, totalizando 2200km² de área (Birkenmajer 2001) (Anexo 1), dos quais 60% são permanentemente cobertos de gelo (Troedson e Riding 2002).

O registro geológico

Os primeiros trabalhos geológicos e paleontológicos na ilha Rei George foram realizados na segunda metade da década de 70 pelas expedições antárticas polonesas (*Polish Antarctic Expeditions*) (Birkenmajer 2001). A partir do princípio da década de 80, foram publicados diversos estudos sobre estratigrafia, idade, paleogeografia e paleontologia dos estratos glaciais da IRG, com grande contribuição de Birkenmajer (*e.g.* Birkenmajer 1982a, b, 1984, 1994, 1995, 1996, 2001, 2003, Birkenmajer *et al.* 1987b, Porebski & Gradzinski 1987, Santos *et al.* 1990, Troedson & Riding 2002, Troedson & Smellie 2002).

A ilha Rei George possui o registro geológico mais completo do Cenozóico da Antártica (Birkenmajer 1996), além de possuir áreas com afloramentos desta era relativamente extensas se comparadas ao restante do continente.

Segundo Birkenmajer (1991, 1996), os depósitos da ilha Rei George representam quatro eventos de glaciação ao longo de 30 Ma, do Eoceno (50 Ma) ao início do Mioceno (20 Ma), denominadas Krakow, Polonez, Legru e Melville. No entanto, Santos *et al.* (1990), Troedson & Smellie (2002) e Barker & Camerlenghi (2002) reconheceram apenas as glaciações

Polonez e Melville como glaciações em larga escala, sendo a glaciação Legru considerada como um provável evento de glaciação local (Fig. 4).

Glaciação Krakow

A glaciação Krakow seria representada por diamictitosossilíferos aflorando em Magda Nunatak, preservando bivalves, escafópodes e cocólitos, sobrepostos por brechas e fluxos de lava (Birkenmajer 1991, 1996).

Lavas basálticas de porções superiores da unidade foram datadas de 49,5 Ma pelo método de K-Ar (Eoceno inicial), enquanto estudos com nanoplâncton em sedimentos marinhos sugeriram Eoceno inicial a final (Birkenmajer 1991, 1996, Birkenmajer *et al.* 1986). No entanto, datações pelo método da razão Sr^{87}/Sr^{86} em conchas de braquiópodes e bivalves coletados nos depósitos de tilitos de Magda Nunatak forneceram idade de 29,8Ma (Oligoceno inicial a médio, Dingle & Lavelle 1998b), o que torna tais depósitos correlatos a rochas mais tardias (da glaciação Polonez), invalidando a glaciação Krakow como evento isolado. De fato, Troedson & Smellie (2002) reconheceram os depósitos aflorantes em Magda Nunatak como pertencentes ao Membro Krakowiak Glacier da Formação Polonez Cove (Fig. 4A).

Glaciação Polonez

A glaciação Polonez é considerada a maior glaciação cenozóica da ilha (Birkenmajer 1991, 1996, 2001) e o primeiro evento de glaciação no oeste da Antártica (Dingle & Lavelle 1998a,b). Está representada pelos depósitos de diamictitos, conglomerados e arenitosossilíferos da Formação Polonez Cove, que se estendem desde a península de Low Head até a península de Lions Rump, em Three Sisters Point, penhasco Goodwin e pico Vauréal (Birkenmajer 2001, Troedson & Smellie 2002; Anexo 1, Fig. 4B).

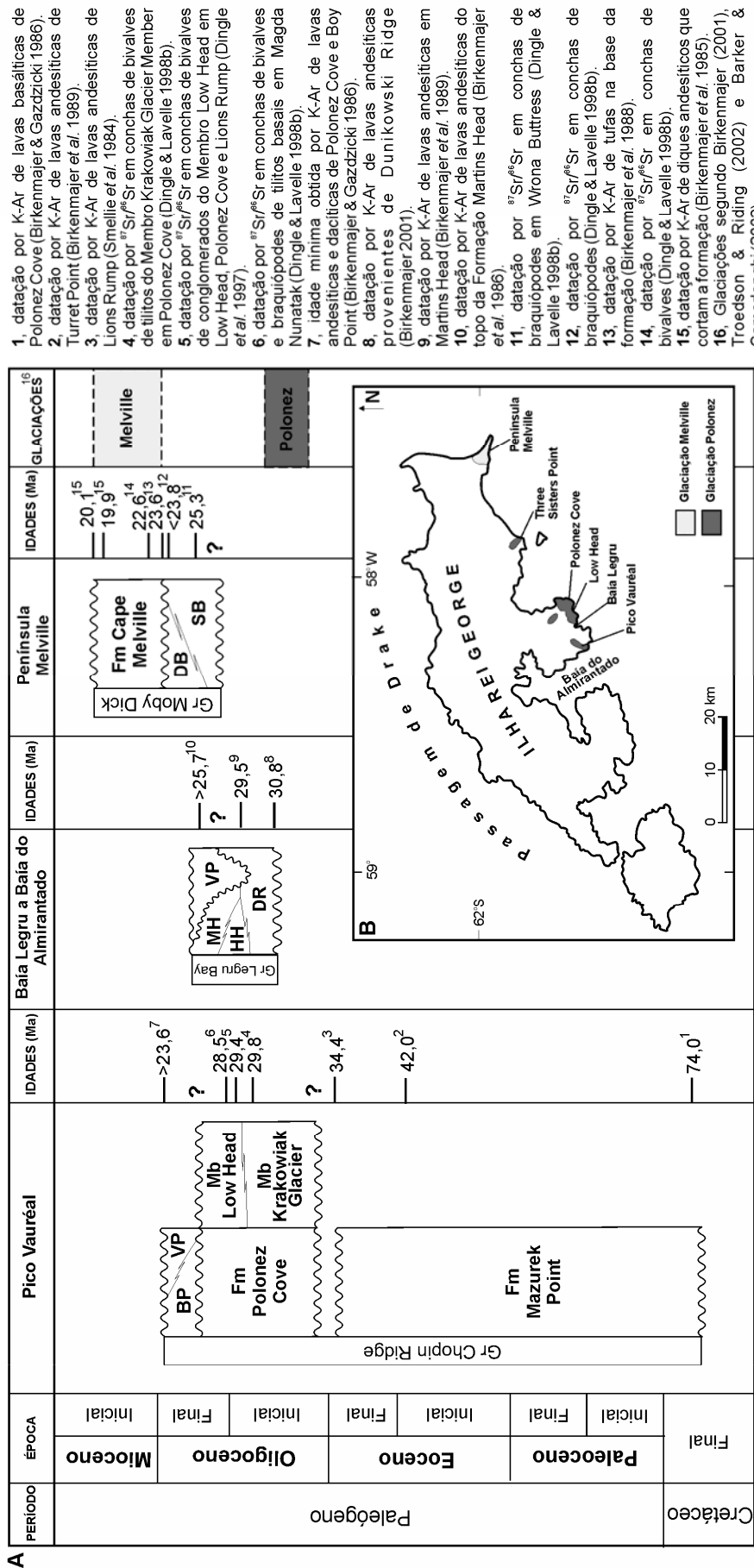


Figura 4: O registro glacial da ilha Rei George. A, unidades litostratigráficas cenozóicas da ilha Rei George. B, distribuição de depósitos glaciênicos cenozóicos da Ilha Rei George (baseado em Birkenmajer 2001, Troedson & Riding 2002 e Barker & Camerlenghi 2002). BP, Formação Boy Point; DB, Formação Destruction Bay; DR, Formação Dunikowski Ridge; HH, Formação Hamasie Hill; MH, Formação Martins Head; SB, Formação Sherrat Bay; VP, Formação Vauréal Peak.

- 1, datação por K-Ar de lavas basálticas de Polonez Cove (Birkenmajer & Gazdzicki 1986).
- 2, datação por K-Ar de lavas andesíticas de Turret Point (Birkenmajer *et al.*, 1989).
- 3, datação por K-Ar de lavas andesíticas de Lions Rump (Smellie *et al.*, 1984).
- 4, datação por ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr em conchas de bivalves de tilitos do Membro Krakowiak Glacier (Member em Polonez Cove (Dingle & Lavelle 1998b)).
- 5, datação por ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr em conchas de bivalves de conglomerados do Membro Low Head em Low Head, Polonez Cove e Lions Rump (Dingle *et al.*, 1997).
- 6, datação por ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr em conchas de bivalves e braquiópodes de tilitos basais em Magda Nunatak (Dingle & Lavelle 1998b).
- 7, idade mínima obtida por K-Ar de lavas andesíticas e dacíticas de Polonez Cove e Boy Point (Birkenmajer & Gazdzicki 1986).
- 8, datação por K-Ar de lavas andesíticas provenientes de Dunikowski Ridge (Birkenmajer 2001).
- 9, datação por K-Ar de lavas andesíticas em Martins Head (Birkenmajer *et al.*, 1989).
- 10, datação por K-Ar de lavas andesíticas do topo da Formação Martins Head (Birkenmajer *et al.*, 1986).
- 11, datação por ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr em conchas de braquiópodes em Wrona Buttress (Dingle & Lavelle 1998b).
- 12, datação por ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr em conchas de braquiópodes (Dingle & Lavelle 1998b).
- 13, datação por K-Ar de tufas na base da formação (Birkenmajer *et al.*, 1988).
- 14, datação por ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr em conchas de bivalves (Dingle & Lavelle 1998b).
- 15, datação por K-Ar de diques andesíticos que cortam a formação (Birkenmajer *et al.*, 1985).
- 16, Glaciações segundo Birkenmajer (2001), Troedson & Riding (2002) e Barker & Camerlenghi (2002).

Os fósseis encontrados nos arenitos da Formação Polonez Cove incluem cocólitos, diatomáceas, foraminíferos, poliquetos, briozoários, braquiópodes, escafópodes, bivalves, gastrópodes, ostrácodes e equinodermos (Gazdzicki & Pugaczewska 1984, Pugaczewska 1984, Gazdzicki & Studencka 1997, Troedson & Smellie 2002, Jonkers 2003, Anexo 4).

Datações nos depósitos da Formação Polonez Cove indicaram idade entre 74-34 Ma (final do Cretáceo a Eoceno/Oligoceno) pelo método K-Ar (Birkenmajer *et al.* 1986), e 29,4 Ma (início do Oligoceno, Rupeliano) pelo método da razão Sr^{87}/Sr^{86} em conchas de bivalves (Dingle *et al.* 1997) (Fig. 4A).

O Membro Krakowiak Glacier dessa formação é caracterizado por facies de conglomerados e diamictitos, contendo clastos facetados e estriados, cuja litologia sugere origem alóctone, a partir das Montanhas Transantárticas e Ellsworth (Birkenmajer 1996, 2001, Santos *et al.* 1990, Troedson & Smellie 2002). Tais características representam evidência da presença pretérita de mantos de gelo, que teriam transportado fragmentos líticos da região central para a extremidade ocidental da Antártica (Santos *et al.* 1990, Birkenmajer 1996, 2001, Troedson & Smellie 2002). Este fenômeno corrobora a existência de glaciação perene nesta região durante o início da deposição da Formação Polonez Cove (Birkenmajer 1996, 2001, Troedson & Smellie 2002). Além disso, conchas de braquiópodes coletadas do Membro Low Head da Formação Polonez Cove registraram paleotemperaturas de 3° - 3,8°C (Quaglio & Santos 2006). Portanto, os dados sedimentológicos e isotópicos corroboraram a hipótese de que a glaciação Polonez representa o primeiro evento cenozóico de glaciação em larga escala no oeste da Antártica, embora com temperaturas mais amenas que as modernas (Tripathi *et al.* 2005).

Glaciação Legru

A glaciação Legru teria ocorrido entre as glaciações Polonez e Melville (Birkenmajer 1980a, 1983) e estaria representada por tilitos, andesitos e fluxos de detritos do tipo *lahar* da Formação Vauréal Peak (Fig. 4A), presentes nas proximidades da baía do Almirantado (Birkenmajer 1982a, 2001; Anexo 1). Birkenmajer *et al.* (1986), com base na datação das rochas da Formação Vauréal Peak pelo método do K-Ar, atribuíram à glaciação Legru idade de Oligoceno inicial (30-26 Ma), corroborada pelo método da razão Sr^{87}/Sr^{86} por Dingle *et al.* (1997) (Fig. 4A).

No entanto, Barker & Camerlenghi (2002), com base em discussões pessoais com J. Smellie, consideram este evento como a glaciação mais jovem da ilha, embora de idade indefinida. Por outro lado, P.R. Santos (comunicação verbal) ponderou que a glaciação Legru é caracterizada como um evento local de altitude, típico de montanhas, e, portanto, deve ser excluído do evento regional de glaciação em larga escala – a glaciação Polonez - ocorrido no oeste da Antártica.

Glaciação Melville

O intervalo glacial mais jovem, a glaciação Melville, está representado pelos depósitos glaciomarinhosossilíferos da Formação Cape Melville, aflorantes em toda a extensão da península Melville (Birkenmajer 1982b, Troedson & Riding 2002; Anexo 1, Fig. 4).

Os fósseis estão representados por foraminíferos, diatomáceas, corais solitários, poliquetos, moluscos (bivalves, gastrópodes e escafópodes), braquiópodes, equinodermos, artrópodes e cordados marinhos, além de belemnites e nanoplânctons calcários reciclados do Cretáceo (*e.g.* Birkenmajer 1982a, 1984, 1996, Birkenmajer *et al.* 1987a, b, Föster *et al.* 1987, Barrocas & Campos 1990, Hara 1994, Troedson & Riding 2002, Bitner & Crame 2002, Gazdzicki 2003, Anexo 4).

A datação por K-Ar dos diques andesíticos e basálticos sugere idade de 20-23 Ma (início do Mioceno) (Birkenmajer 1985, 1988, Birkenmajer *et al.* 1988), idade corroborada pelos estudos palinológicos (Troedson & Riding 2002) e de foraminíferos (Birkenmajer & Luczkowska 1987) provenientes da Formação Cape Melville. Já estudos recentes com base em microfósseis sugerem idade de Oligoceno final a Mioceno inicial (Duleba *et al.* 2004) (Fig. 4).

As glaciações da ilha Rei George e os mantos de gelo do oeste

Zachos *et al.* (1994, 2001), com base no registro isotópico de oxigênio, consideraram que os mantos de gelo teriam se desenvolvido no leste da Antártica no início do Oligoceno, e alcançado o oeste durante o Mioceno médio. Barker & Camerlenghi (2002) afirmaram que, neste último intervalo de tempo, os mantos de gelo cobriam virtualmente todo o continente, estendendo-se, inclusive, na sua porção ocidental. Dingle & Lavelle (1998b) consideraram que o primeiro evento de glaciação perene no oeste da Antártica ocorreu no início do Oligoceno (29,8 Ma) e, posteriormente, um segundo pico de glaciação teria ocorrido no início do Mioceno (22,6 Ma). É possível, porém, que a glaciação miocênica apontada por Zachos *et al.* (1994, 2001) corresponda ao segundo evento de Dingle & Lavelle (1998b).

Considerando os eventos globais de incursão negativa da curva isotópica de oxigênio (Zachos *et al.* 1994, 2001) e as idades atribuídas às formações Polonez Cove (Birkenmajer *et al.* 1986, Dingle *et al.* 1997) e Cape Melville (Birkenmajer *et al.* 1988, Troedson & Riding 2002, Birkenmajer & Luczkowska 1987), o primeiro e segundo eventos que configuraram a glaciação em larga escala no oeste do continente correspondem, respectivamente, às glaciações Polonez, quando foram depositados os sedimentos da Formação Polonez Cove, e Melville, quando foi depositada a Formação Cape Melville.

2.3.6. O isolamento térmico e os bivalves cenozóicos da Antártica ocidental

A Figura 5 sintetiza os principais pontos de discussão apresentados neste capítulo. A polêmica acerca do isolamento térmico da Antártica diz respeito, principalmente, se as aberturas das passagens da Tasmânia e de Drake foram os principais fatores ou se tiveram papel secundário no esfriamento. Neste último caso, o declínio da concentração de gás carbônico representaria o fator crucial no desenvolvimento dos mantos de gelo. Também é controverso se o esfriamento no oeste da Antártica representa causa ou consequência da circulação da Corrente Circum-Antártica.

É consensual que a glaciação do oeste, mantida pela circulação da Corrente Circum-Antártica, está registrada nos depósitos das formações Polonez Cove e Melville da ilha Rei George sob as glaciações Polonez e Melville. Outro aspecto consensual já ressaltado anteriormente considera que o isolamento térmico da Antártica desencadeou mudanças profundas na eustasia, evolução biótica, ambiental e climática durante o Cenozóico, e que serve de premissa para esta dissertação.

Ainda de acordo com a discussão resumida na Figura 5, o intervalo de tempo crucial em que a dinâmica do isolamento térmico do continente se desenvolveu está compreendido entre o limite Eoceno/Oligoceno e Mioceno médio. Por este motivo, depósitos cenozóicos de idades atribuídas a esse intervalo de tempo representam dados-chave para estudos relacionados à evolução glacial da Antártica.

Frente a isso, é provável que os invertebrados das formações Polonez Cove (Oligoceno inicial) e Cape Melville (Mioceno inicial), descritos no Capítulo 4, tenham testemunhado o estabelecimento da Corrente Circum-Antártica do final do Paleógeno ao início do Neógeno. Isto significa que tais fósseis possivelmente apresentam padrão de distribuição paleobiogeográfica condicionado pela evolução paleogeográfica e paleoambiental aqui

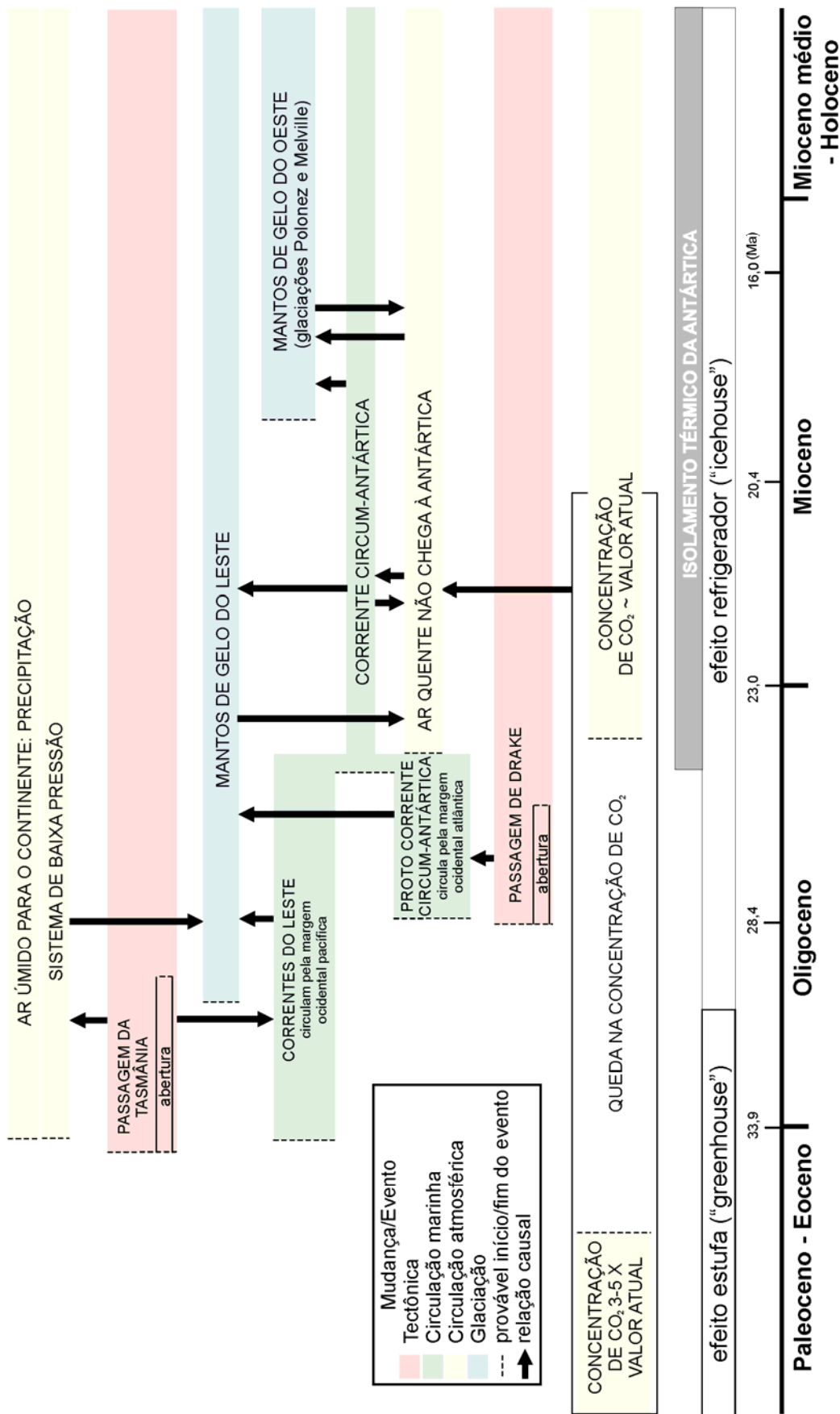


Figura 5: Diagrama sintetizando os principais eventos cenozóicos e fatores que levaram ao isolamento térmico da Antártica (discussão no texto). As caixas (eventos) estão organizadas de acordo com o tempo geológico, e as setas indicam a relação entre os eventos a partir do surgimento provável dos mesmos (síntese a partir de Bartek *et al.* 1992, Pagani *et al.* 1999, Toggweiler & Bjornsson 1999, Nong *et al.* 2000, Pearson & Palmer 2000, Exon *et al.* 2001, Zachos *et al.* 2001, Barker & Camerlenghi 2002, DeConto & Pollard 2003a, b, Livermore *et al.* 2004, Coxall *et al.* 2005, Pfuhi & Mc Cave 2005, Tripati *et al.* 2005).

discutida, e podem representar faunas transicionais entre condições de clima frio-temperado a polar.

CAPÍTULO 3 – Geologia das áreas de estudo

3.1. Operação Antártica XXI: trabalhos de campo e geologia da Formação Cape Melville

A Operação XXI realizou o levantamento de perfis geológicos da Formação Cape Melville pela equipe do projeto CNPq – PROANTAR 550352/02-3 durante o verão de 2003 em seis localidades ao longo da península Melville, ilha Rei George (Fig. 6A-C). Dos seis perfis levantados, quatro apresentaram níveis fossilíferos, denominados: Lava Crag (Fig. B, D, E), Hard Ground (Fig. B, F, G), Chaminé (Fig. B, H, I) e Pingüineira (Fig. 6B, J-M). Os bivalves descritos no presente estudo foram coletados dessas quatro seções (Fig. 6E, G, I, M).

Os depósitos da Formação Cape Melville, aflorantes em toda a extensão da península Melville (Fig. 6A-C), correspondem a uma sucessão marinha relativamente espessa (150m) que inclui diamictitos basais seguidos de argilitos siltosos a arenosos e arenitos de granulometria fina a média, com a presença de camadas subsidiárias delgadas de carbonato e tufos vulcânicos, depositados em plataforma média a externa durante a fase de deglaciação da Glaciação Melville no início do Mioceno (Birkenmajer 1982b, 1984, Troedson & Riding 2002, Anexo 4).

As litofacies estudadas nas quatro seções levantadas registram deposição por processos diversos, incluindo depósitos de argila por decantação, correntes de turbidez, queda de detritos de icebergs, além de fluxos de argila esporádicos em ambiente plataformar marinho. As quatro seções estratigráficas levantadas durante a Operação Antártica XXI, bem como a interpretação faciológica dos depósitos, estão descritas detalhadamente no anexo 4.

Os fósseis ocorrem associados às facies de arenito e siltito em quatro das seis seções levantadas, e estão contemplados no Capítulo 4 e detalhadamente descritos no Anexo 4.

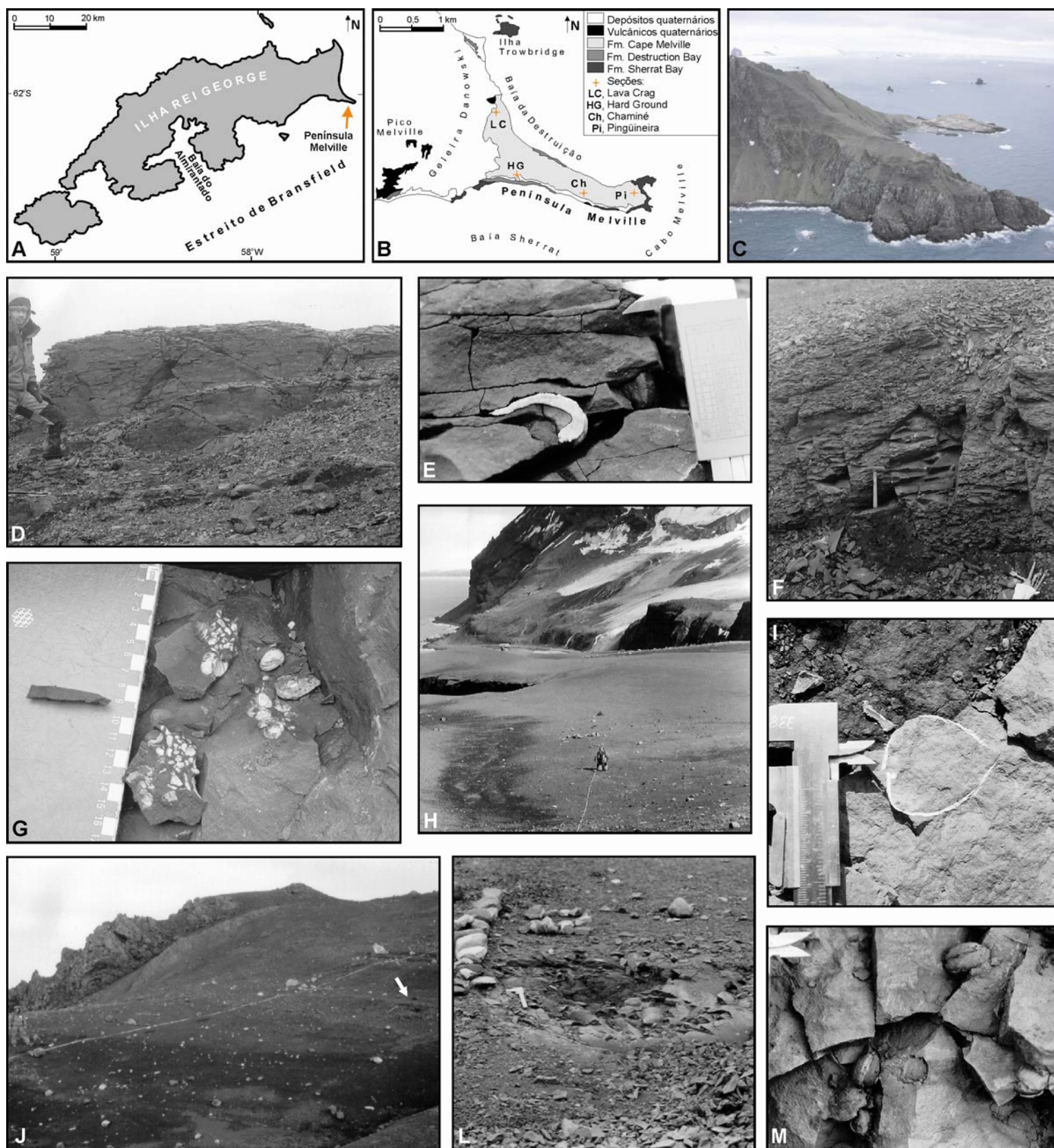


Figura 6: Trabalhos de campo da Operação Antártica XXI. **A**, Localização da península Melville na Ilha Rei George, Antártica. **B**, localização dos sítios fossilíferos estudados da Formação Cape Melville na península Melville. **C**, extremidade oriental da península Melville. **D-E**, seção Lava Crag; **D**, afloramento; **E**, detalhe do bivalve *Neilo rongelii* “in situ”. **F-G**, seção Hard Ground; **F**, nível fossilífero; **G**, detalhe dos exemplares “in situ” dos bivalves *Ennucula frigida*. **H-I**, seção Chaminé; **H**, afloramento; **I**, detalhe do bivalve *Panoepa* cf. *P. (Panoepa) regularis* “in situ”. **J-M**, seção Pingüineira; **J**, afloramento (seta indica nível fossilífero); **L**, detalhe do nível fossilífero; **M**, detalhe dos exemplares “in situ” dos bivalves *Ennucula muscosa*. (fotos: L.E. Anelli).

Aspectos relacionados à tafonomia, análise morfofuncional e paleoecologia das assembléias fósseis presentes nas quatro seções levantadas são tema de outra dissertação de mestrado (Casati, em preparação), também ligada ao projeto CNPq – PROANTAR 550352/02-3. De acordo com os resultados preliminares, diferenças observadas no conteúdo taxonômico e ecológico destas seções, bem como no seu modo de preservação, revelaram histórias deposicionais e ambientes distintos entre as assembléias fossilíferas.

As assembléias das seções Hard Ground (Fig. 6B, F, G) e Pingüineira (Fig. 6B, J-M) são caracterizadas por bioclastos exibindo alto índice de articulação, ausência de sinais de fragmentação e bioerosão, distribuição normal das classes de tamanho dos bivalves e, exclusivamente na seção Hard Ground, presença de pirita em alguns bivalves nuculídeos e corais (Casati, em preparação). Estas feições são típicas de depósito de sufocamento, onde os bioclastos são mortos *in situ*, e a presença de pirita é interpretada por Casati *et al.* (no prelo) como resultante da decomposição dos organismos soterrados, em ambiente anóxico. No entanto, o arranjo caótico dos bioclastos na matriz observado em ambas as seções é indicativo de remobilização destas faunas. O transporte destes bioclastos foi, segundo Casati *et al.* (2005a, b), de curta duração, uma vez que não existem sinais de retrabalhamento e o evento gerador destas assembléias foi associado a fluxo gravitacional de massa.

Já nas seções Lava Crag (Fig. 6B, D, E) e Chaminé (Fig. 6B, H, I), as assembléias são caracterizadas por alto índice de bioclastos desarticulados, embora assinaturas como bioerosão e fragmentação também estejam ausentes (Casati *et al.* 2005a, b). A orientação é predominantemente concordante em relação ao plano de acamamento com a convexidade dos bivalves voltada para baixo, ou seja, fora da posição de maior estabilidade hidrodinâmica, o que é indicativa de deposição por correntes de turbidez. Além disso, a presença de exemplares de bivalves do gênero *Panopea* em posição de vida em meio aos demais bivalves desarticulados sugere que estes últimos foram transportados por evento de energia mais alta

do que aquele que gerou as assembléias de Pingüineira e Hard Ground, e reunidos aos demais táxons em posição de vida, os quais, por sua vez, foram sufocados *in situ* (Casati em preparação).

3.2. Operação Antártica XXII: trabalhos de campo e geologia da Formação Polonez Cove

A Operação XXII realizou trabalhos de campo pela equipe do projeto CNPq – PROANTAR 550352/02-3 durante o verão de 2004 na região do pico Vauréal, próximo à baía do Almirantado, ilha Rei George (Fig. 7A), com o levantamento de seção estratigráfica dos depósitos oligocênicos da Formação Polonez Cove (Fig. 7B).

Outros afloramentos da Formação Polonez Cove ocorrem na faixa costeira ocidental da Ilha Rei George, entre Lions Rump e Low Head (Birkenmajer 1982a), em Three Sisters Point, Godwin Cliffs (Porebski & Gradzinski 1987, Birkenmajer 1994, 1995) e Magda Nunatak (Troedson & Smellie 2002) (Fig. 7C). A seção-tipo da formação, levantada na região de Low Head em Polonez Cove, inclui os membros Krakowiak Glacier, Bayview, Low Head, Siklawa, Oberek Cliff (Porebski & Gradzinski 1987, Birkenmajer 1994, 1995, Troedson & Smellie 2002) e Chlamys Ledge (Troedson & Smellie 2002) (Fig. 7D).

Os trabalhos taxonômicos disponíveis na literatura descreveram apenas os invertebrados do Membro Low Head (Gazdzicki & Pugaczewska 1984, Pugaczewska 1984, Gazdzicki & Studencka 1997, Jonkers 2003). No entanto, Troedson & Smellie (2002) mencionaram a presença de fósseis nos membros Bayview (corais, braquiópodes e bivalves), Low Head (bivalves, briozoários, escafópodes, ostrácodes, gastrópodes, forminíferos, poliquetos e crinóides), Siklawa (bivalves e caules de plantas), Oberek Cliff (icnofósseis e bivalves), e Chlamys Ledge (bivalves, braquiópodes e gastrópodes).

Como detalhado no Capítulo 2, o Membro Krakowiak Glacier é caracterizado pela presença de diamictitos e registra eventos de avanço e retração de mantos de gelo de origem marinha em plataforma continental rasa (Troedson & Riding, 2002). Os demais membros consistem de rochas com fragmentos basálticos e lavas, representando ambientes de plataforma continental rasa dominados por atividade vulcânica (Porebski & Gradzinski 1987, Birkenmajer 1994, 1995, Troedson & Smellie 2002).

A base da seção estratigráfica levantada na área do Pico Vauréal (Fig. 7E) é composta por conglomerados e diamictitos, atribuída ao Membro Krakowiak, contendo fragmentos líticos alóctones (Fig. 7B). O Membro Low Head corresponde a intercalações de facies de conglomerados maciços matriz- e clasto-suportados e arenitos contendo clastos esparsos e compondo camadas de graduação normal (Fig. 7B). A seção estratigráfica levantada durante a Operação Antártica XXII, bem como a interpretação faciológica dos depósitos, estão descritas detalhadamente no Anexo 5. Os fósseis foram coletados da facies de arenito do membro Low Head (Fig. 7F-H), correlacionada à camada LH-3 de Birkenmajer (1994, 1995) e L2 de Troedson & Smellie (2002). Aspectos tafonômicos dos fósseis coletados, bem como a descrição taxonômica dos mesmos estão contemplados no Capítulo 4 e detalhados no Anexo 5.

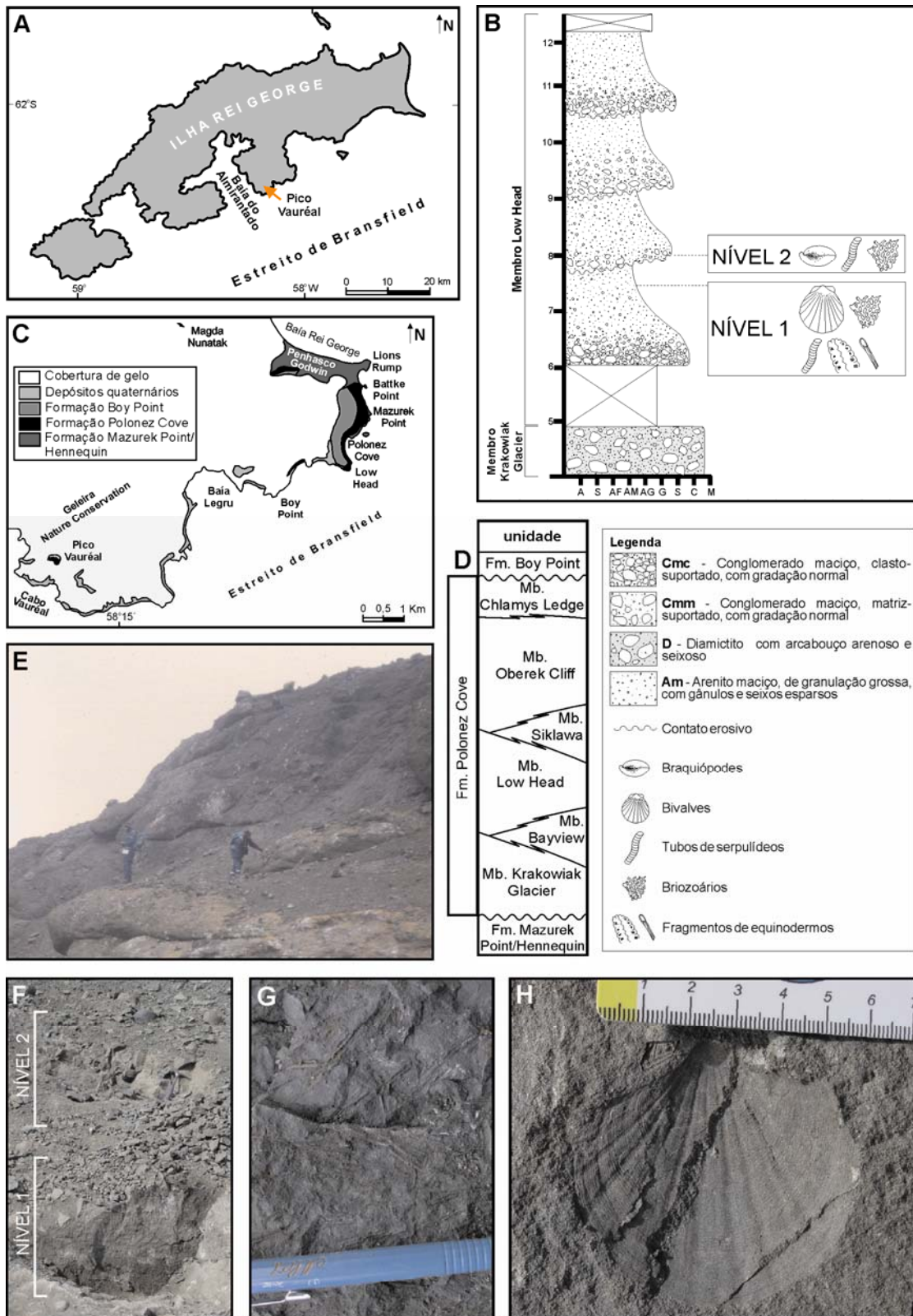


Figura 7: Formação Polonez Cove. **A**, localização do afloramento da Formação Polonez Cove no Pico Vauréal, ilha Rei George. **B**, seção da Formação Polonez Cove levantada no Pico Vauréal durante a Operação Antártica XXII, com indicação dos níveis fossilíferos. **C**, ocorrências da Formação Polonez Cove na ilha Rei George, entre o Cabo Vauréal e a Baía Rei George (modificado de Troedson & Smellie 2002 e Birkenmajer 2001). **D**, unidades litoestratigráficas da Formação Polonez Cove na área-tipo (de acordo com Troedson & Smellie 2002). **E**, afloramento estudado no Pico Vauréal. **F**, detalhe dos níveis fossilíferos estudados. **G**, detalhe dos tubos de serpulídeos “in situ”. **H**, detalhe do bivalve *Adamussium* sp. nov. “in situ”.

CAPÍTULO 4 – Paleontologia

A península Antártica, devido à sua localização (Anexo 1), possui registro glacial intimamente ligado ao histórico do isolamento térmico do continente, sobretudo ao desenvolvimento dos mantos de gelo do oeste. Como visto no Capítulo 2, a evolução paleogeográfica delineou as rotas migratórias da região, assim como o esfriamento do continente provavelmente alterou a configuração biótica da antártica e subantártica.

Além disso, algumas regiões da península possuem registro paleontológico de bivalves em depósitos cenozóicos de idades anteriores (como a ilha Seymour) e posteriores (como as ilhas Rei George e Cockburn) ao esfriamento antártico, o que pode contribuir para o conhecimento sobre as alterações ambientais ocorridas ao longo do Cenozóico.

4.1. Estudos prévios sobre bivalves

4.1.1. O registro paleontológico da ilha Rei George

Os depósitos fossilíferos cenozóicos da ilha Rei George onde foram registrados bivalves estão representados nas formações Polonez Cove (em Lions Rump, pico Vauréal e em Magda Nunatak), Destruction Bay (em Wrona Buttress), e Cape Melville (na península Melville). As espécies conhecidas com seus respectivos dados de proveniência, idade e referência bibliográfica estão listados no Anexo 2.

Os primeiros estudos taxonômicos de bivalves coletados da Formação Polonez Cove foram realizados por Gaździcki & Pugaczewska (1984) e Pugaczewska (1984). Além de 28 espécies de bivalves, Gaździcki & Pugaczewska (1984) descreveram cocólitos, diatomáceas, foraminíferos, serpulídeos, briozoários, braquiópodes, gastrópodes, ostrácodes, crinóides, ofiuróides e equinóides. A assembléia é proveniente da coquina de pectinídeos (“pecten

conglomerate”) do Membro Low Head, na região de Lions Rump, área-tipo da Formação Polonez Cove.

Embora extensa, por tratar de assembléia bastante diversa, a sistemática taxonômica de Gaździcki & Pugaczewska (1984) foi baseada majoritariamente em exemplares fragmentados, e comparados, em parte, com espécies descritas para depósitos da América do Norte. Menos de 60% dos táxons foram comparados com espécies descritas para depósitos cenozóicos do sul da América do Sul. O estudo de Gaździcki & Pugaczewska (1984) deve ser reconhecido pelo pioneirismo, muito embora trabalhos posteriores sinonimizaram e reidentificaram várias das espécies nele descritas (Jonkers 2003, Anexo 2).

Pugaczewska (1984) descreveu três espécies de bivalves das famílias Veneridae e Hiatellidae e uma de escafópode, também do Membro Low Head da Formação Polonez Cove na região de Magda Nunatak. Muito embora Pugaczewska (1984) tenha descrito os exemplares mais detalhadamente que Gaździcki & Pugaczewska (1984), as comparações foram realizadas apenas com espécies descritas para a Patagônia.

Studencka (1991) descreveu de forma mais detalhada duas espécies de bivalves da Família Hiatellidae da Formação Destruction Bay, Península Melville, incluindo estudo morfométrico de vários exemplares, embora também os tenha comparado apenas com espécies descritas de depósitos cenozóicos da Patagônia.

Da Formação Cape Melville, foram descritos vários grupos taxonômicos, como braquiópodes (Biernat *et al.* 1985, Bitner & Crame 2002), crustáceos (Föster *et al.* 1987, Feldman & Crame 1998, Feldmann & Gaździcki 1997, 1998), equinóides (Jesioneck-Szymanska 1987), cefalópodes (Birkenmajer *et al.* 1987b), gastrópodes (Karczewski 1987), corais (Roniewicz & Morycowa 1987) e plantas (Birkenmajer & Zastawniak 1986). No entanto, a despeito de sua abundância relativa nesta formação (Birkenmajer 1982b, 1984,

Birkeenmajer *et al.* 1987b, Troedson & Riding 2002), nenhum trabalho taxonômico havia descrito bivalves desses depósitos até o presente estudo (Anexo 4).

4.1.2. O registro paleontológico de outras regiões da península Antártica

O registro de bivalves Cenozóicos para outras regiões da península Antártica é mais diverso. A ilha Seymour, localizada mais ao sul em relação à Ilha Rei George (Anexo 1), é, sem dúvida, a localidade atualmente conhecida mais rica em fósseis paleógenos em toda a Antártica. Os depósitos das formações López de Bertodano (Cretáceo final), Sobral (Paleoceno) e La Meseta (Eoceno) registram fósseis de diversos grupos (Feldmann & Zinsmeister 1984, Blake & Aronson 1998, Fostowicz-Frelik & Gaździcki 2001, Szczechura 2001, Stahl & Chatterjee 2002, Feldmann *et al.* 2003, Schweitzer *et al.* 2005, Jadwiszczak 2006), incluindo icnofósseis (Uchman & Gaździcki 2006).

Com relação aos bivalves, Zinsmeister (1984) identificou 11 espécies e erigiu 22 novas espécies da Formação La Meseta (Anexo 2). Zinsmeister & Macellari (1988) descreveram 18 espécies e propuseram 15 novas espécies das formações López de Bertodano (Cretáceo final) e Sobral (Paleoceno) (Anexo 2).

Posteriormente, Jonkers (2003) reestudou os quatro gêneros de pectinídeos provenientes de depósitos cenozóicos do Oceano Sul, abrangendo diversas localidades no sul da América do Sul, Antártica e ilhas próximas à zona da Convergência Antártica, Nova Zelândia e Tasmânia (Anexo 1). O estudo compreendeu o total de 22 espécies, incluindo dois gêneros novos e quatro espécies novas e sinonimização de pectinídeos anteriormente descritos por Gaździcki & Pugaczewska (1984) e Stilwell *et al.* (2002) (Anexo 2).

A ilha Cockburn, próxima da ilha Seymour, possui registro fossilífero nas formações Snow Hill Island (Cretáceo final) e Cockburn Island (Plioceno final), além de registro restrito da Formação La Meseta. Da Formação Snow Hill Island, Stilwell & Zinsmeister (1987)

descreveram oito espécies de bivalves (Anexo 2). Da Formação La Meseta Stilwell & Zinsmeister (1987) descreveram seis espécies de bivalves (Anexo 2).

A Formação Cockburn Island, aflorante na ilha Cockburn, é caracterizada pela presença de coquinas de pectinídeos (“Pecten conglomerate”), semelhantes às encontradas na região de Low Head, ilha Rei George (Birkenmajer 2001). As coquinas da Formação Cockburn Island foram utilizadas anteriormente por Adie (1962) e Fleming & Thomson (1979) na correlação com a Formação Polonez Cove, considerada até recentemente de idade pliocênica (Birkenmajer 1980a, b, c, 1982a, 1983, 1985, Gaździcki & Pugaczewska 1984). No entanto, datações por K/Ar (Birkenmajer & Gaździcki 1986, Birkenmajer *et al.* 1986) e $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ (Dingle *et al.* 1987, Dingle & Lavelle 1998) apontaram idade de Oligoceno inicial para a Formação Polonez Cove. Muito embora ambas as coquinas sejam compostas essencialmente por pectinídeos, enquanto os pectinídeos das coquinas da Formação Polonez Cove da ilha Rei George são representados por *Austrochlamys gazdzickii* Jonkers e *Adamussium alanbeui* Jonkers, as coquinas da Formação Cockburn Island da ilha Cockburn são compostas por *Austrochlamys anderssoni* (Henning) e *Adamussium colbecki cockburnensis* Jonkers (Jonkers 2003) (Anexo 2). Além dos pectinídeos, a Formação Cockburn Island registra o laternulídeo *Laternula elliptica* (King & Broderip) (Stilwell & Zinsmeister 1987) (Anexo 2).

4.2. Material estudado

Os exemplares de invertebrados fósseis foram coletados durante as operações antárticas XXI e XXII, dos afloramentos das formações Polonez Cove e Cape Melville na ilha Rei George, Antártica ocidental.

Da Formação Polonez Cove, foram coletados exemplares de bivalves, braquiópodes, tubos de serpulídeos, briozoários e fragmentos de equinodermes. Os bivalves correspondem a moldes internos e externos; os braquiópodes, embora possuam o material de concha

preservado, possuem, em sua maioria, a região anterior fragmentada; já os tubos de serpulídeos, briozoários e equinodermes correspondem a pequenos fragmentos. O material paleontológico coletado da Formação Cape Melville é constituído apenas por bivalves. Os exemplares possuem a concha preservada em sua integridade, muitos ainda contendo a camada nacarada.

Todos os exemplares fósseis foram depositados na coleção científica do Laboratório de Paleontologia Sistemática do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, sob os prefixos GP/1E ou GP/1T.

A Paleontologia Sistemática envolveu etapas de seleção, limpeza, preparação para captura de imagens e descrição taxonômica. Apenas os exemplares que potencialmente possuíam preservadas feições adequadas à análise taxonômica foram selecionados para os métodos de preparação.

4.2.1. Preparação dos exemplares fósseis

Os métodos de preparação evoluíram limpeza mecânica para observação das feições taxonômicas bem como preparação para a captura de imagens.

a) Limpeza mecânica

Os exemplares provenientes da Formação Cape Melville foram coletados já isolados da matriz e, portanto, foram submetidos somente à última etapa de preparação mecânica, apenas para remoção de fragmentos de matriz.

Já os bivalves coletados da Formação Polonez Cove não sofreram limpeza mecânica por se tratarem de moldes. Os braquiópodes dessa formação, por sua vez, encontravam-se inseridos na matriz e foram removidos com o auxílio de martelo e cinzel. Os serpulídeos, briozoários e equinodermes permaneceram na matriz devido à fragilidade dos materiais;

apenas eventuais fragmentos de matriz foram removidos da superfície na última etapa de limpeza.

Aproximadamente todos os exemplares fósseis foram submetidos à última etapa de preparação mecânica que incluiu remoção cuidadosa dos fragmentos de matriz aderidos aos exemplares sob lupa *Leica MZ95* e iluminador *Leica CLS 100X* com o auxílio de micropercussiva *Powerline 72* e instrumental odontológico e de relojoaria pertencentes ao Laboratório de Paleontologia de Invertebrados do IGc/USP. Ainda sob lupa, e após esta última etapa de limpeza, foi realizada nova triagem, a fim de selecionar os exemplares que possuíam preservadas feições adequadas à análise taxonômica. Todos os exemplares selecionados foram cuidadosamente lavados sob água com auxílio de escova para remoção de eventuais restos de sedimento e secos à temperatura ambiente.

b) Preparação para captura de imagens

Os exemplares selecionados para as descrições taxonômicas foram submetidos a diversos métodos de preparação, de acordo com as características dos materiais. Dentre os exemplares de briozoários, tubos de serpulídeos e equinodermos, parte foi diretamente submetida a métodos ópticos de captura de imagem para observação da forma e alguns espécimes receberam preparação para captura eletrônica de imagem.

Impregnação por magnésio metálico

Os bivalves e braquiópodes, preservados tridimensionalmente e em escala centimétrica, possuem diversas feições externas e internas importantes para a análise taxonômica. Tais feições, como ornamentação externa, dentição e cicatrizes musculares, estão preservadas em relevo negativo nas conchas, e podem ser evidenciadas a partir do método da impregnação por fuligem de magnésio metálico. Os exemplares receberam camada delgada de tinta *Nankin*

com auxílio de pincel. Após secagem completa, foram cobertos por camada delgada de fuligem de magnésio metálico.

Seção seriada

Dois exemplares de braquiópodes foram submetidos ao método de seção seriada. Em cada exemplar foram marcadas linhas perpendiculares ao eixo ântero-posterior da concha. Cada concha foi desgastada a partir da região anterior em placa de vidro com carbetto de silício pulverizado (SiC), seguindo o plano ortogonal ao eixo ântero-posterior demarcado pelas linhas. Durante o desgaste, foram capturadas imagens das seções para o reconhecimento das estruturas internas, tais como crura, processo crural e banda transversal. Este método é importante, principalmente nos casos em que as valvas estão preservadas articuladas fechadas, para a análise de caracteres diagnósticos cruciais na descrição taxonômica de braquiópodes, encontrados apenas na porção interna das conchas.

Laminação

Apenas um exemplar de equinodermo, uma espícula inserida na matriz, foi submetido à laminação na Seção de Laminação do IGc/USP para observação da seção transversal.

Microscopia Eletrônica de Varredura

Os exemplares que possuíam feições em escala nanométrica, como microestrutura externa da concha de alguns bivalves, microestrutura da concha de braquiópodes, estrutura dos zoóides dos briozoários, ornamentação externa dos tubos de serpulídeos, e feições das placas ambulacrais dos equinodermos, foram submetidos à Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Para a preparação, fragmentos dos exemplares foram removidos e montados em *stubs* com fita de carbono ou cola, e recobertos por camada de ouro.

4.2.2. Captura de imagens

Foram utilizados métodos ótico e eletrônico de captura de imagens. As fotomicrografias dos exemplares cobertos por magnésio foram obtidas por câmera digital *Donpisha 3CCD*. As fotomicrografias dos exemplares limpos, da lâmina de equinodermo e das seções seriadas foram obtidas por câmera digital *Donpisha 3CCD* acoplada em lupa *Zeiss Stemi SV11* do Laboratório de Petrografia Sedimentar do IGc/USP. Os exemplares cobertos por ouro foram analisados em MEV *LEO 440 I* do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do IGc/USP.

4.3. Sistemática taxonômica

As descrições taxonômicas dos fósseis das formações Cape Melville e Polonez Cove (Membro Low Head) foram executadas na forma de dois artigos científicos anexos ao final deste volume (Anexos 4 e 5). Por conveniência, as descrições taxonômicas contidas nos anexos não serão repetidas neste capítulo; apenas informações gerais serão apresentadas a seguir.

4.3.1. Bivalves da Formação Cape Melville (Mioceno)

Resumo do artigo EARLY MIOCENE BIVALVES FROM THE CAPE MELVILLE FORMATION, KING GEORGE ISLAND, WEST ANTARCTICA publicado no periódico *Alcheringa* (Anexo 4).

Sete espécies de bivalves marinhos, incluindo seis táxons novos, foram descritos para a Formação Cape Melville (início do Mioceno), aflorante em várias localidades da península Melville, ilha Rei George, Antártica ocidental. A assembléia de bivalves inclui táxons representativos das famílias Nuculidae (espécies *Ennucula frigida* sp. nov. e *E. musculosa* sp. nov.), Malletidae [*Neilo (Neilo) rongelii* sp. nov.], Sareptidae (*Yoldia peninsularis* sp. nov.),

Limopsidae (*Limopsis psimolis* sp. nov.), Hiatellidae [*Panopea* (*Panopea*) sp. cf. *P. regularis*] e Periplomatidae (*Periploma acuta* sp. nov.).

Os exemplares são provenientes de quatro seções sedimentares levantadas na porção superior da unidade. Feições morfológicas detalhadas das espécies de nuculóides e arcóides estão excepcionalmente bem preservadas, o que permitiu, pela primeira vez, a reconstituição de inserções musculares bem como padrões de dentição de táxons neogênicos da Antártica. A distribuição geológica dos exemplares corrobora a idade de Mioceno inicial atribuída à Formação Cape Melville.

Os bivalves da Formação Cape Melville representam a fauna mais bem estudada de bivalves proveniente de depósitos antárticos do Mioceno, época de mudanças geológicas, paleogeográficas e paleoclimáticas complexas no continente. A nova fauna introduz informações taxonômicas originais, concernentes ao contexto paleogeográfico da abertura de rotas marinhas migratórias e à distribuição da biota cenozóica na região antártica.

4.3.2. Invertebrados da Formação Polonez Cove, Membro Low Head (Oligoceno)

Resumo do artigo INVERTEBRATES FROM THE LOW HEAD MEMBER (POLONEZ COVE FORMATION, OLIGOCENE) AT VAURÉAL PEAK, KING GEORGE ISLAND, WEST ANTARCTICA aceito para publicação no periódico *Antarctic Science* (Anexo 5).

Oito táxons de invertebrados marinhos, incluindo duas espécies novas de bivalves, são descritas do Membro Low Head, Formação Polonez Cove (início do Oligoceno), que aflora na região do pico Vauréal, ilha Rei George, Antártica ocidental. A assembléia fóssil inclui representantes dos grupos Brachiopoda (gêneros *Neothyris* sp. e *Liothyrella* sp.), Bivalvia (*Adamussium auristriatum* sp. nov., ?*Adamussium* cf. *A. alabeui* Jonkers, e *Limatula*

(*Antarctolima ferraziana* sp. nov.), Bryozoa, Polychaeta (tubos de serpulídeos), e Echinodermata.

Os exemplares ocorrem em depósitos de fluxo de detritos do Membro Low Head, que por sua vez constitui parte de um ambiente de fan-delta em ambiente marinho raso de alta a média energia. *Liothyrella* sp., *Adamussium auristriatum* sp. nov. e *Limatula ferraziana* sp. nov. correspondem aos registros mais antigos desses gêneros na Ilha Rei George e, possivelmente, aos representantes ancestrais de grupos atualmente viventes na Antártica.

A despeito do número e diversidade restritos, os bivalves e braquiópodes descritos neste estudo possuem registro fóssil que sugere padrão de dispersão geral ajustado ao regime de circulação de correntes marinhas estabelecido ao redor da Antártica durante o Cenozóico em dois passos. O primeiro após a abertura do Mar da Tasmânia durante o limite Eoceno/Oligoceno ao longo da margem oriental pacífica da Antártica, e o segundo após a abertura da passagem de Drake no final do Paleógeno ao longo da margem ocidental atlântica e oriental da Antártica.

CAPÍTULO 5 – Afinidades paleobiogeográficas

5.1. Diversidade dos bivalves cenozóicos da Antártica

São conhecidas 39 espécies de bivalves fósseis provenientes de depósitos cenozóicos da ilha Rei George, sendo 29 gêneros distribuídos em 20 famílias, das quais 16 espécies foram identificadas com dúvida e 10 apenas até o nível de gênero. Quando se consideram também outras regiões antárticas, o número de espécies aumenta para 126, distribuído em 71 gêneros e 33 famílias (Anexos 2 e 3).

O quadro 1 resume as informações dos anexos 2 e 3 e apresenta os números de famílias, gêneros e espécies de bivalves registrados para o Cenozóico da Antártica. Grande parte do registro de todo o Cenozóico ocorre nos depósitos eocênicos da Formação La Meseta (ilha Seymour, Anexo 1) e blocos erráticos coletados em McMurdo Sound (Anexo 1). O Oligoceno é o segundo intervalo com maior registro de bivalves fósseis, provenientes, principalmente da Formação Polonez Cove (ilha Rei George, Anexo 1).

Quadro 1: Números de famílias, gêneros e espécies de bivalves antárticos por unidade geológica (Un) e total (T) registrados para cada intervalo do Cenozóico (dados resumidos dos anexos 2 e 3).

Época	Unidade	Localidade	Famílias		Gêneros		Espécies	
			Un	T	Un	T	Un	T
Recente	-	-	-	27	-	46	-	118
Holoceno	Fm. Taylor	Mar de Ross	1	1	1	1	1	1
Pleistoceno	Bacia Victoria Land	Victoria Land	1	1	1	1	1	1
	Fm. Cockburn Island	Ilha Cockburn	2		3		3	
Plioceno	Fm. Sorsdal	Victoria Land	1	2	1	3	1	4
	Fm. Cape Melville	Ilha Rei George	7		7		8	
Mioceno	Fm. Hobbs Glacier	Ilha James Ross	1		1		1	
	Fm. Drygalski	Ilha Heard	1	7	1	8	1	11
	Bacia Victoria Land	Victoria Land	1		1		1	
	Bacia Victoria Land	Victoria Land	1		1		1	
Oligoceno	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George	16		24		29	
	Fm. Destruction Bay	Ilha Rei George	2	16	2	24	4	33
Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	20		26		34	
	blocos erráticos	McMurdo Sound	19	26	30	47	31	58
Paleoceno	Fm. Sobral	Ilha Seymour	10	10	12	12	13	13
Cretáceo	Fm. Snow Hill Island	Ilha Cockburn	8		8		8	
	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	22	22	26	27	28	34

Esses dados de registro foram plotados no gráfico da Figura 8 para avaliação da dinâmica de diversidade em número de famílias e gêneros de bivalves antárticos a partir do final do Período Cretáceo.

Era	Período	Época	Diversidade de bivalves na Antártica	
			n.º de famílias	n.º de gêneros
Cenozóico	Neógeno	Holoceno	28	47
		Pleistoceno	1	1
		Plioceno	2	3
	Paleógeno	Mioceno	7	8
		Oligoceno	16	24
		Eoceno	20	26
		Paleoceno	10	12
		Cretáceo final	22	27

Figura 8: Diversidade em número de famílias e gêneros de bivalves registrados para a Antártica ao longo do Cenozóico (dados resumidos dos anexos 2 e 3).

Para comparação, foi gerado outro gráfico de diversidade a partir dos dados reunidos por Beu & Maxwell (1990) contendo os gêneros e famílias registrados para o Cenozóico da Nova Zelândia (Fig. 9). O registro paleontológico da Nova Zelândia é o mais bem estudado dentre as regiões do Oceano Sul e, portanto, é bastante adequado para ser comparado com o registro antártico.

De acordo com a Figura 9, a diversidade em número de famílias permaneceu relativamente constante na Nova Zelândia a partir do Eoceno, enquanto o número de gêneros aumentou do final do Eoceno ao final do Mioceno, experimentando pequena queda no Holoceno.

Era	Período	Época	Diversidade de bivalves na Nova Zelândia			
			no. de famílias	no. de gêneros		
Cenozóico	Neógeno	Holoceno	29	67		
		Pleistoceno	31	84		
		Plioceno	f	32	88	
			i	33	85	
		Mioceno	f	36	97	
			m	35	98	
			i	37	103	
			f	32	87	
		Paleógeno	Oligoceno	i	29	66
			Eoceno	f	30	64
	m			29	57	
	i		22	31		
	Paleoceno	f	11	13		
		i	16	20		
	Cretáceo final		7	8		

Figura 9: Diversidade em número de famílias e gêneros de bivalves registrados para a Nova Zelândia ao longo do Cenozóico (dados de Beu & Maxwell 1990). i, inicial; m, médio; f, final.

Segundo Beu & Maxwell (1990), o pequeno número de táxons registrados do final do Cretáceo ao Paleoceno seria consequência do regime sedimentar que não teria favorecido a preservação durante esse intervalo de tempo. Ainda de acordo com os autores, a transgressão marinha iniciada entre o final do Cretáceo e o Paleógeno foi máxima no final do Paleógeno e início do Neógeno, o que resultou em maior registro do final do Oligoceno ao Mioceno. Além disso, a reorganização dos padrões de correntes oceânicas no sudoeste do Pacífico, como consequência da separação entre a Austrália e a Antártica, possivelmente favoreceu a dispersão de grande número de moluscos para a Nova Zelândia, incluindo gêneros com afinidades por águas mais quentes, e promoveu a configuração da diversidade dessa região para os padrões modernos.

Ainda como consequência da separação entre a Austrália e a Antártica, Beu & Maxwell (1990) sugeriram que a formação de pequenas bacias teria facilitado a especiação, particularmente em grupos de moluscos com habilidade de dispersão limitada. A maioria dos bivalves de águas rasas das famílias Glycymerididae, Limopsidae, Limidae, Pectinidae, Carditidae, Mactridae e Veneridae teriam sofrido diversificação intensa durante o final do

Oligoceno, o que explicaria o maior número de gêneros registrados para o início do Neógeno (Fig. 9). Outra fase importante seria experimentada pela fauna de bivalves da região da Nova Zelândia após o Mioceno médio como consequência da intensificação da Corrente Circum-Antártica após a abertura da passagem de Drake. De acordo com Beu (1985) e Beu *et al.* (1997), a nova configuração no padrão de circulação oceânica durante o Neógeno teria permitido o primeiro evento de dispersão circum-Antártico de larvas de moluscos da América do Sul para a Nova Zelândia.

Considerando que a diversidade de bivalves durante o Cenozóico da Nova Zelândia foi influenciada pelas alterações ambientais após as aberturas da passagem da Tasmânia e de Drake, é provável que a diversidade do grupo registrado em depósitos cenozóicos da Antártica também tenha sofrido alterações pelos mesmos agentes.

De acordo com o Quadro 1, as épocas de maior registro de diversidade em famílias e gêneros de bivalves na Antártica ocorreram no final do Cretáceo, Eoceno e Recente, e, secundariamente, durante o Oligoceno. Curiosamente, os números registrados para o Eoceno e o Recente são semelhantes. Considerando a idéia amplamente aceita de que o registro paleontológico é inerentemente incompleto, tais dados parecem sugerir que o registro do Recente está subestimado. De fato, Clarke *et al.* (2004) estimaram que apenas 25% da fauna de organismos bentônicos recentes da Antártica são conhecidos. Além disso, cerca de metade do registro para o Eoceno da Antártica é representado por blocos erráticos de McMurdo Sound. É provável, portanto, que tais dados sejam responsáveis pela semelhança entre o registro para o Eoceno e o Recente. Os fósseis registrados nos blocos erráticos são reciclados e, provavelmente, de idade incerta (embora atribuída ao Eoceno por Stilwell 2000). Por este motivo, apenas os bivalves da Formação La Meseta representam o registro para o Eoceno na Figura 8.

Dessa forma, os picos de diversidade observados na Figura 8 estão associados ao registro das formações López de Bertodano (Cretáceo final), La Meseta (Eoceno) e Polonez Cove (Oligoceno), além do registro de bivalves atualmente viventes na Antártica.

A dinâmica da diversidade sintetizada no gráfico da Figura 8 pode refletir três fatores principais. O primeiro está relacionado à escassez de afloramentos na Antártica. Como ressaltado no Capítulo 1, a dificuldade de acesso e a existência de poucas áreas com rochas aflorantes na Antártica são, sem dúvida, a primeira causa de amostragem baixa em relação ao grande território. O registro antártico listado no Quadro 1 e ilustrado na Figura 8 demonstra que os intervalos nos quais gêneros e famílias de bivalves são registrados em maior número são representados por depósitos localizados em regiões que foram mais exploradas. A maior parte dos intervalos de maior registro de bivalves está representada por depósitos localizados na ilha Seymour (Anexo 1), com as formações Lopez de Bertodano (Cretáceo) e La Meseta (Eoceno).

O segundo estaria relacionado ao estresse ambiental deflagrado pelas alterações ambientais em escala regional após o esfriamento antártico. Neste caso, uma queda no registro desde o Oligoceno poderia ser reflexo das novas condições ambientais na região Antártica. Por outro lado, Beu *et al.* (1997) afirmaram que, durante períodos de esfriamento brusco, como no início do Oligoceno, o aumento da diversidade seria favorecido, sobretudo resultando em eventos de especiação. O registro revela, entretanto, queda muito acentuada do Mioceno ao Pleistoceno e grande aumento no registro do Holoceno, devido ao grande registro de bivalves modernos. Esta variação brusca entre um intervalo e outro sugere que a diversidade de bivalves cenozóicos da Antártica está extremamente subestimada, o que aponta para o baixo conhecimento desse grupo ao longo do Cenozóico. Além disso, a diversidade representada na Figura 8 não parece apresentar tendência geral de variação associada às principais mudanças ambientais ocorridas nesse intervalo. Dessa forma, muito embora as

novas condições ambientais neogênicas provavelmente tenham influenciado a biodiversidade nas regiões do Oceano Austral, o registro atualmente conhecido dos bivalves antárticos não reflete tal influência.

O terceiro fator pode estar relacionado ao controle estratigráfico dos depósitos, que pode aumentar o registro em períodos nos quais as condições deposicionais (sedimentológicas e estratigráficas) provavelmente favoreceram a preservação. De acordo com Holland (1995), o registro fóssilífero é controlado estratigraficamente. Picos de primeiro aparecimento coincidem com trato de sistema transgressivo e suas superfícies delimitantes (superfície transgressiva na base e de máxima inundação no topo), enquanto queda no registro é observada no trato de sistema de mar alto, e ausência de registro está ligada ao trato de sistema de mar baixo. Uma vez que os trabalhos de descrição dos depósitos cenozóicos da Antártica não utilizam a sistemática da estratigrafia de seqüências como método de descrição e interpretação geológica, a aplicação do modelo de Holland (1995) representa apenas uma tentativa especulativa na discussão da variação do registro paleontológico da Antártica.

Dentre os intervalos de tempo de maior registro fóssilífero de bivalves, as seções estratigráficas das formações depositadas durante o Cretáceo final, o Eoceno e o Oligoceno parecem sugerir maior tendência de preservação de acordo com associações faciológicas distintas.

Nos depósitos da Formação Lopez de Bertodano aflorantes na ilha Seymour (Anexo 1), os fósseis ocorrem em maior abundância nas porções superiores da unidade (Zinsmeister & Macellari 1988). Nessas porções, os depósitos apresentam tendência progradacional, como observado na coluna estratigráfica apresentada por Macellari (1988), e nas descrições geológicas discutidas por Crame *et al.* (1991). Dessa forma, tais depósitos podem representar tratos de sistemas transgressivos, sugerindo maior tendência à preservação dos fósseis, de acordo com o modelo de Holland (1995). Esta interpretação explicaria o número

relativamente grande de bivalves registrados nos depósitos cretácicos da Formação Lopez de Bertodano (Fig. 8).

Aproximadamente a metade do número de famílias e gêneros de bivalves registrado para o Eoceno é proveniente da Formação La Meseta (Fig. 8). Os depósitos da Formação La Meseta são interpretados por Porebski (1995) como originados a partir do preenchimento de vales incisos por sistemas deposicionais estuarinos influenciados por maré. Segundo o autor, o padrão arquitetural dessa sucessão indica preenchimento a partir de sucessivos eventos transgressivos relacionados a ciclos retrogradacionais associados a subidas do nível do mar originadas por causas tectônicas ou tectono-eustáticas. Os fósseis de bivalves ocorrem em lentes areníticas lateralmente descontínuas ao longo de toda a seção estratigráfica, sendo mais abundantes e mais bem preservados nas unidades superiores da formação (*Telm* 4, 5 e 6 de Stiwell & Zinsmeister 1992). Esses depósitos são apresentados nas seções estratigráficas de Elliot & Trautman (1982) com tendência agradacional a retrogradacional, a qual representa arquitetura típica de sistemas de tratos transgressivos. Além disso, essas camadas fossilíferas são interpretadas como depósitos de barra de maré por Stiwell & Zinsmeister (1992) e facies de *lags* transgressivos por Porebski (1995). Aplicando-se o modelo de Holland (1995), tais depósitos caracteristicamente favoreceriam a preservação e, portanto, podem estar relacionados ao grande número de táxons de bivalves antárticos registrados para o Eoceno (Fig. 8).

No entanto, sistemas deposicionais influenciados por eventos glaciais podem apresentar ciclos de menor ordem de subida e decida do nível do mar, o que implicaria em variações localizadas no número de táxons preservados em determinado nível estratigráfico (Eyles & Eyles 1992). Deste modo, a aplicação do modelo de Holland (1995) é viável somente quando há controle faciológico e ciclo-estratigráfico de alta resolução, ou seja, nos casos em que é possível delimitar superfícies e tendências arquiteturais de menor ordem.

5.2. Padrão paleobiogeográfico

Como detalhado no Capítulo 2, a abertura da passagem da Tasmânia durante o Oligoceno promoveu a separação entre a Antártica e a Austrália (Exon *et al.* 2001) e, no final dessa época, a abertura da passagem de Drake resultou na separação entre a Antártica e a América do Sul (Barker & Thomas 2004). A formação dos mantos de gelo na Antártica e o estabelecimento da Corrente Circum-Antártica resultaram no isolamento térmico observado atualmente no continente. Portanto, muito embora o registro dos bivalves antárticos atualmente conhecido aparentemente não reflita as alterações ambientais ocorridas ao longo do Cenozóico, é provável que as mudanças resultantes da nova configuração tectônica, oceanográfica e ambiental tenham influenciado a evolução dos padrões paleobiogeográficos do grupo. Além disso, as épocas em que há maior registro de bivalves cenozóicos da Antártica – Eoceno, Oligoceno e Recente - são importantes ao marcarem os principais intervalos relacionados às mudanças ambientais da região. O Eoceno registra os organismos antes do esfriamento antártico, enquanto os organismos do Oligoceno testemunham a glaciação perene do continente. Já o registro dos organismos modernos é importante se considerarmos que o conhecimento sobre as condições ambientais atuais é maior do que qualquer intervalo de tempo geológico. Por este motivo, os dados de registro de bivalves antárticos para o Eoceno, Oligoceno e Recente podem ser considerados como elementos-chave nas interpretações de dinâmica paleobiogeográfica ao longo do Cenozóico.

5.2.1. Estudos prévios

De acordo com Kauffman (1973), a existência da Província Austral, que perdurou desde o Cretáceo médio ao Cretáceo final, é sugerida pela similaridade das faunas de bivalves registrados em depósitos da Índia oriental, Austrália, Antártica, Nova Zelândia e sul da América do Sul. Segundo Zinsmeister (1979a), após a separação da Índia, a Província Austral

teria sido fragmentada em diversas províncias durante o final do Cretáceo. A maior delas, a Província Weddelliana (Fig. 10), correspondia à extensa faixa de águas rasas compreendida entre a margem oriental da Austrália, Nova Zelândia, mar de Ross, Marie Byrd Land, ilha Thurston, montanhas Whitmore e Ellsworth, península Antártica e sul da América do Sul (Anexo 1). Ainda de acordo com o autor (Zinsmeister 1979a), a província era limitada a norte pelo Oceano Pacífico, a sul pelas montanhas Transantárticas, e a leste e oeste pelo gradiente de temperatura temperado-frio (Fig. 10).

A Província Weddelliana teria existido do final do Cretáceo à metade do Eoceno (Zinsmeister 1979a, b, Stilwell 2002), com persistência de conexão marinha entre a Austrália e a Antártica até a metade do Oligoceno (Exon *et al.* 2001). Após a separação entre a Austrália e a Antártica, a reorganização tectônica na região teria desencadeado nova fragmentação e, conseqüentemente, alterado o padrão de circulação oceânica e atmosférica, as quais também teriam influência nas condições ambientais. As novas condições resultariam em nova configuração biótica ao longo do restante do Cenozóico, além de provocarem aumento no grau de endemismo em cada uma das regiões (Zinsmeister 1979a, Stilwell 2002).

A organização das correntes oceânicas que levaram à formação da Corrente Circum-Antártica durante do Oligoceno (Exon *et al.* 2001, Barker & Thomas 2004) teria favorecido a ocorrência de eventos de dispersão entre a Antártica e periferia (Crame 1999). No entanto, uma vez que a Corrente Circum-Antártica se formou, por volta do final do Oligoceno (Pfuhl & McCave 2005), o intercâmbio de faunas teria caído abruptamente a níveis muito baixos, contribuindo para o endemismo da região (Barnes *et al.* 2006). De fato, Linse *et al.* (2006) reconheceram três províncias biogeográficas modernas considerando gêneros e espécies de moluscos: Província Antártica Continental, incluindo todo o continente antártico exceto a península; Província do Mar de Scotia, incluindo a península Antártica; e

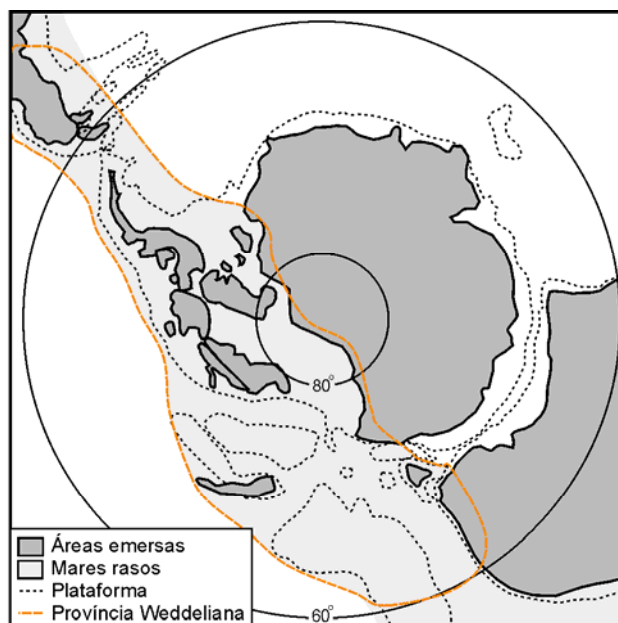


Figura 10: Reconstituição da Província Weddelliana durante o final do Cretáceo (compilado de Zinsmeister 1979a, 1982 e Lawver & Gahagan 2003).

Província Subantártica, correspondendo às ilhas próximas à Convergência Antártica (Anexo 1). Os dados de Linse *et al.* (2006) corroboram a idéia de que a Corrente Circum-Antártica representa atualmente uma barreira para o intercâmbio de faunas entre a região abrangida pela Convergência Antártica e regiões periféricas.

Embora Barnes *et al.* (2006) tenham afirmado que a Antártica teria se configurado em nova província biogeográfica somente após o estabelecimento da Corrente Circum-Antártica, Stilwell (2000, 2002) propôs que a Antártica teria se configurado em nova província ainda na metade do Eoceno. Segundo os argumentos do autor (Stilwell 2000, 2002), uma região com pelo menos 10% de endemismo ao nível de gênero é caracterizada como província biogeográfica, e, dentre os moluscos registrados na Formação La Meseta (ilha Seymour, Anexo 1), de idade eocênica, 11% dos gêneros são endêmicos.

Considerando que a Antártica se configurou em nova província biogeográfica no Eoceno (Stilwell 2000) ou mesmo após o Oligoceno final (Barnes *et al.* 2006), é provável que o número de táxons compartilhados entre a Antártica e outras regiões do Oceano Austral diminuiu ao longo do Cenozóico. Ou seja, o regime de correntes oceânicas configurado

durante o Neógeno até os padrões modernos de circulação resultou em uma barreira para o intercâmbio de faunas entre a Antártica e regiões periféricas.

Outro aspecto importante é a evidência de intercâmbio de organismos plantônicos entre as porções ocidental atlântica e pacífica da Antártica (Stilwell & Zinsmeister 2000). Anteriormente à formação dos mantos de gelo na Antártica, correntes circulavam em passagens marinhas rasas que provavelmente existiram do Paleógeno à metade do Neógeno na região próxima ao limite leste-oeste da Antártica (Fig. 11). Estudos baseados em microfósseis sugeriram que essas correntes teriam existido do final do Cretáceo ao Paleoceno (Huber 1992), enquanto evidências de macrofósseis estenderam a existência das correntes até o Eoceno médio (“Shackleton Seaway” de Zinsmeister 1979b, Stilwell 1996, 2000; Fig. 10A). Outro estudo com microfósseis indicou que essas correntes rasas teriam existido do início do Oligoceno ao Mioceno médio, na direção Atlântico-Pacífico (Lazarus & Caulet 1993; Fig. 11C-D).

Considerando que os mantos de gelo do oeste da Antártica desenvolveram-se durante o início ou meio do Mioceno (De Santis *et al.* 1999, Bart 2003), é provável que tais correntes existissem somente antes da formação dos mantos de gelo do oeste e receberam influência da Corrente Circum-Antártica ainda no começo do Oligoceno. Esses dados confirmam as reconstituições paleogeográficas de Lawver & Gahagan (2003), que sugeriram a existência das passagens marinhas do início do Eoceno ao início do Oligoceno, mas na direção oposta, Pacífico-Atlântico (Fig. 11B-C).

Os dados de Stilwell & Zinsmeister (2000), Zinsmeister (1979b) e Stilwell (1996, 2000) parecem indicar, no entanto, que o intercâmbio ocorreu de forma bidirecional entre a região da península Antártica (ilha Seymour, Anexo 1) e a região de McMurdo Sound (Anexo 1). O intervalo de existência e o sentido de circulação das correntes da “Passagem de Shackleton” são cruciais para o entendimento de alguns padrões paleobiogeográficos da região.

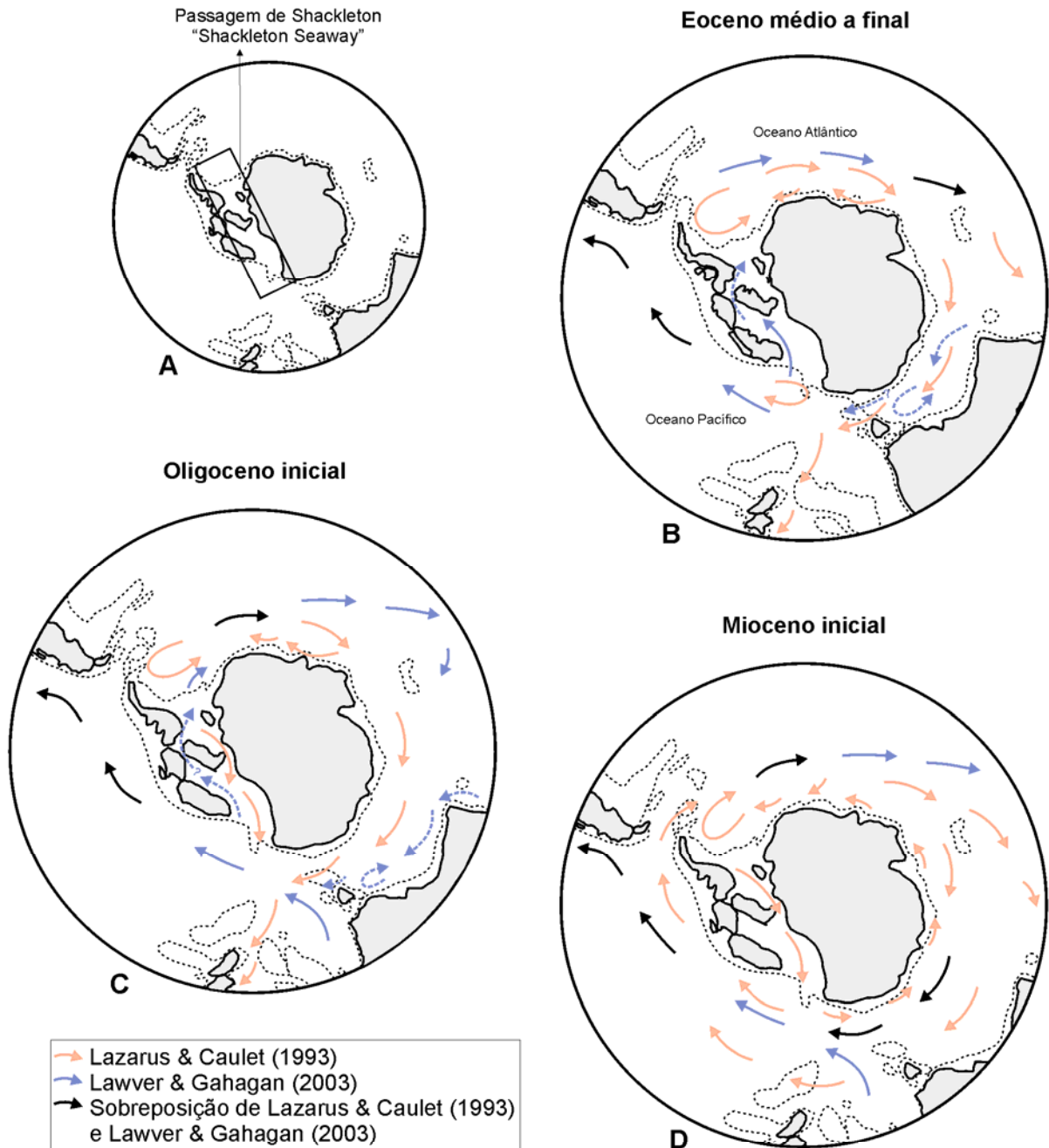


Figura 11: Correntes marinhas cenozóicas no Oceano Sul. **A**, "Passagem de Shackleton", segundo Zinsmeister (1979b). **B-D**, Reconstituições paleoceanográficas de Lazarus & Caulet (1993) e Lawver & Gahagan (2003). As setas pontilhadas indicam atuação de correntes fracas. Segundo Zinsmeister (1979b), o intercâmbio de faunas através da "Passagem de Shackleton" teria ocorrido do final do Cretáceo ao Eoceno médio. De acordo com Lazarus & Caulet (1993), a passagem de mar raso entre o oeste e o leste da Antártica teria existido do início do Oligoceno ao início do Mioceno, na direção Atlântico-Pacífico. Os dados de Lawver & Gahagan (2003) indicam que a passagem teria existido do Eoceno médio até possivelmente o início do Oligoceno, na direção Pacífico-Atlântico.

Anteriormente ao estabelecimento da Corrente Circum-Antártica e a expansão dos mantos de gelo no continente, a única rota migratória provável entre a região da península Antártica e a região do mar de Ross (Anexo 1), ou mesmo a Nova Zelândia, seria *via* “Passagem de Shackleton”, no sentido Atlântico-Pacífico. Por outro lado, a única rota possível de dispersão entre a região do mar de Ross ou da Nova Zelândia, e a península Antártica seria *via* “Passagem de Shackleton”, mas no sentido Pacífico-Atlântico.

5.2.2. Afinidades e origem dos bivalves antárticos

Método de estudo

De acordo com Scheltema (1977), a ocorrência de organismos bentônicos e sedentários em regiões relativamente distantes é atribuída ao transporte passivo por correntes marinhas desses organismos durante a fase larval. No caso do registro paleontológico, a ocorrência de um mesmo gênero em regiões distantes em intervalos de tempo distintos pode indicar eventos pretéritos de dispersão larval e sugerir o padrão paleobiogeográfico e a origem geográfica provável desse táxon.

Considerando o histórico paleogeográfico da Antártica resumido no Capítulo 2, é razoável que a evolução paleobiogeográfica dos bivalves antárticos ao longo do Cenozóico esteja relacionada com o registro do grupo para esse intervalo nas diversas regiões do Oceano Austral, como Austrália, Tasmânia, Nova Zelândia e sul da América do Sul. Para o estudo dos padrões paleobiogeográficos dos bivalves antárticos, seria adequado, portanto, comparar o registro da Antártica com o registro das demais regiões do Oceano Austral. No entanto, frente ao registro antártico limitado, optou-se por compará-lo ao registro mais completo da região, com o objetivo principal de que fosse evitada perda de informação durante a análise comparativa. Outro objetivo seria que este primeiro estudo balizasse comparações posteriores com regiões cujo registro fóssil é mais restrito. Dessa forma, a comparação entre o registro da

Antártica com o da Nova Zelândia é bastante conveniente, uma vez que o registro de bivalves para o Cenozóico da Nova Zelândia é o mais completo do Oceano Austral e teve sua taxonomia reestudada recentemente (Beu & Maxwell 1990). Outro aspecto importante em se utilizar o registro da Nova Zelândia é a possibilidade de comparação com interpretações de estudos anteriores. Nesse caso, o método empregado no presente estudo foi adotado da análise realizada por Beu *et al.* (1997). Nessa análise, foram comparados os gêneros de moluscos registrados para o Cenozóico em comum entre a Nova Zelândia e o sul da América do Sul.

Nesta análise paleobiogeográfica, alguns aspectos a respeito da comparação entre os gêneros de bivalves da Antártica e da Nova Zelândia devem ser ressaltados:

- 1- apenas os gêneros cenozóicos em comum entre as duas regiões serão considerados;
- 2- a dispersão teria ocorrido durante a fase de larva através de transporte passivo por correntes oceânicas *via* “Passagem de Shackleton”, ou *via* Corrente Circum-Antártica no sentido horário;
- 3- a origem atribuída aos gêneros analisados é considerada apenas entre as duas regiões ao longo do Cenozóico, ou seja, a origem aqui atribuída não necessariamente representa a origem paleobiogeográfica daquela linhagem, e não necessariamente será a mesma se consideradas(os) também outras regiões e/ou intervalos de tempo, já que:
- 4- o registro mais antigo não necessariamente reflete a primeira ocorrência real (Beu *et al.* 1997);

Análise paleobiogeográfica

Dos 123 gêneros de bivalves registrados para o final do Cretáceo e Cenozóico da Antártica, 28 (23%) são registrados também para a Nova Zelândia, dos quais a maior parte

(24 gêneros, 86%) possui registro mais antigo nessas regiões até o Eoceno e apenas quatro (14%) são registrados pela primeira vez nessas regiões após o Oligoceno (Fig. 12). A queda no número de gêneros em comum entre a Antártica e a Nova Zelândia depois do Oligoceno suporta o cenário do isolamento geográfico e térmico da Antártica, ocorrido após as aberturas das passagens da Tasmânia e de Drake, com a conseqüente extinção da Província Weddelliana e o surgimento da Província Antártica no final do Paleógeno (Zinsmeister 1979a).

a) Gêneros cosmopolitas

Os gêneros cosmopolitas são amplamente distribuídos no mundo, com registro cenozóico em ambos os hemisférios (Beu *et al.* 1997). Dos 28 táxons em comum entre as duas regiões, 17 correspondem a gêneros cosmopolitas (61%). No entanto, quatro (14%, *Panopea*, *Acesta*, *Pinna* e *Ledina*) possuem primeiro registro tanto na Nova Zelândia como na Antártica (Fig. 12). Por este motivo, tais táxons não oferecem informação sobre possíveis rotas de dispersão durante o Cenozóico, pelo menos ao nível de gênero e considerando somente essas duas regiões.

b) Gêneros gondwânicos

Os elementos paleoaustrais (Fleming 1963) ou gêneros gondwânicos (Beu *et al.* 1997) correspondem aos táxons originados no início do Cenozóico, ou mesmo no final do Mesozóico, e que ocuparam a costa pacífica do Gondwana. Tais táxons são considerados elementos de baixa capacidade de dispersão, e cujo registro fóssil representa evidência pretérita de conexão terrestre ou marinha de extensão limitada (Fleming 1963, Zinsmeister 1982, Stilwell 2003).

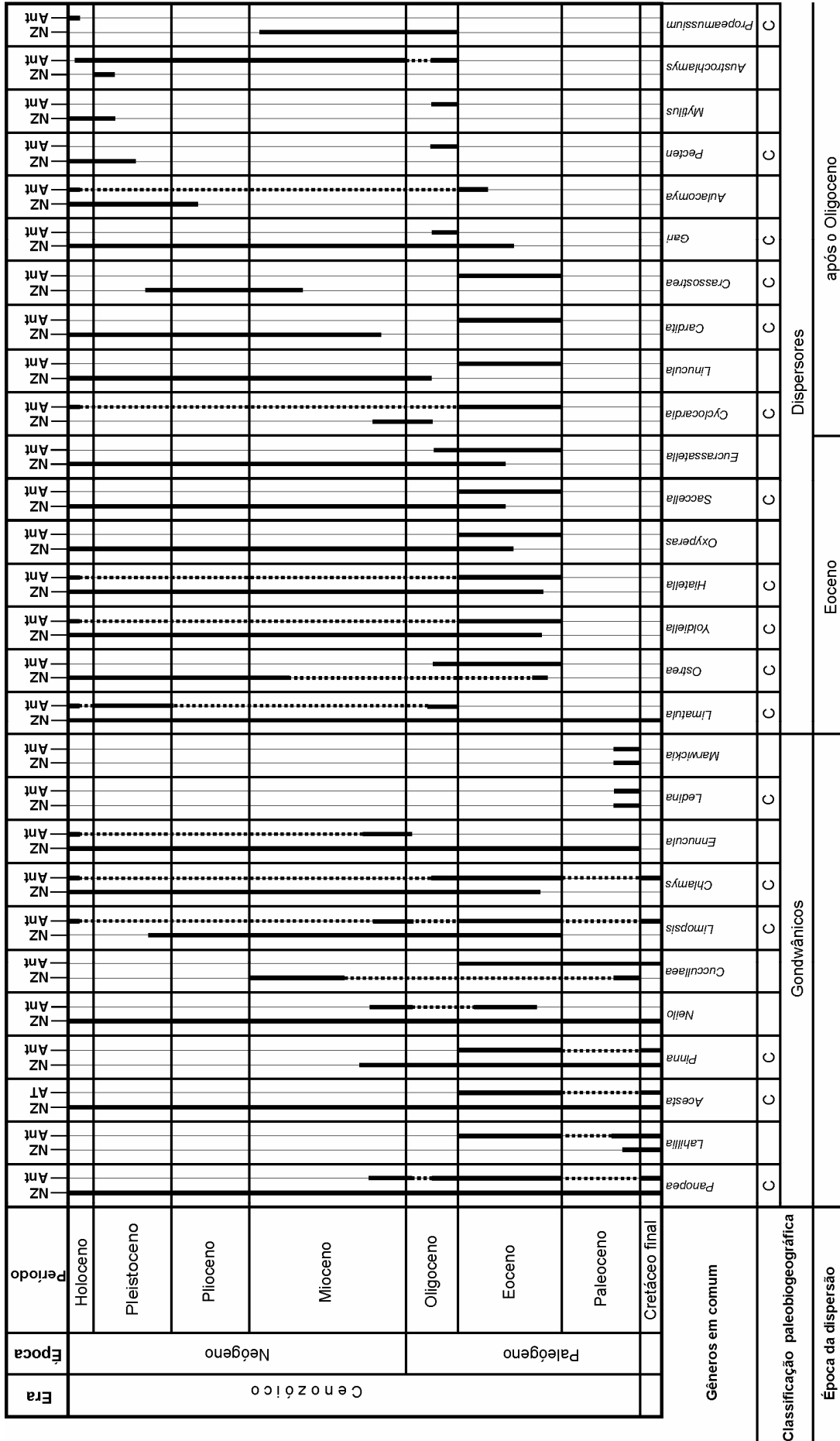


Figura 12: Distribuição temporal dos gêneros em comum entre a Antártica e a Nova Zelândia registrados para o Cenozóico. A linha pontilhada indica registro provável dos *Lazarus taxa*. C aponta os gêneros cosmopolitas (dados de Zinsmeister 1984, Pugaczewska 1984, Gazdzicki & Pugaczewska 1984, SOMBASE, Stulwell & Zinsmeister 1987, 2000, Zinsmeister & Macellari 1988, Studencka 1991, Stulwell 2000, 2002, 2003, Jonkers 2003, anexos 4 e 5).

Dentre os gêneros em comum entre a Nova Zelândia e a Antártica, 11 táxons (39%) estão nessa categoria (Fig. 12). O gênero *Lahillia* é registrado tanto na Nova Zelândia como na Antártica no final do Cretáceo e, portanto, não oferece informação sobre possíveis rotas de dispersão durante o Cenozóico. *Neilo* tem registro no Paleoceno da Patagônia (Stilwell 2003), do Eoceno ao Plioceno na Terra do Fogo (Malumian *et al.* 1978, Villarroel & Stuardo 1998) e no final do Oligoceno na Argentina (Erdmann & Morra 1985). *Ennucula* ocorre do final do Mioceno ao Pleistoceno do Chile (Villarroel & Stuardo 1998). Portanto, a origem de *Neilo* e *Ennucula* durante o Eoceno na ilha Seymour e o Mioceno da ilha Rei George estaria relacionada ao intercâmbio faunístico entre o sul da América do Sul e a península Antártica, regiões contíguas durante essa época, o que confirma ambos os táxons como gêneros gondwânicos.

Limopsis ocorre do Eoceno médio a final na Argentina (Zinsmeister 1981). *Cuccullaea* ocorre no Mioceno da Terra do Fogo, enquanto o registro de *Marwickia* é restrito ao início do Cenozóico (Beu *et al.* 1997). *Chlamys* ocorre no Mioceno médio da Argentina (Del Río 1992). Na Antártica, os registros mais antigos de *Cuccullaea*, *Limopsis* e *Chlamys* são do final do Cretáceo (Stilwell & Zinsmeister 1987, Zinsmeister & Macellari 1988, Stilwell 2002). Isto pode sugerir que tais gêneros possuem história prévia durante o Mesozóico em outras regiões do Gondwana, ou mesmo que não há registro suficiente para a interpretação da origem desses táxons.

Limatula poderia ser considerada como um gênero gondwânico uma vez que sua origem remonta o Mesozóico (Fleming 1978). No entanto, o registro da Nova Zelândia inclui os subgêneros *Limatula*, *Stabilima* e *Limatuletta*, com diversas espécies e subespécies (Fleming 1978, Beu & Maxwell 1990). O grupo de *L. (Limatula) subovata* teria surgido, segundo Fleming (1978), no Eoceno e originado as espécies recentes da Australásia com afinidade por climas mais frios. Ainda de acordo com o autor, os representantes desse grupo apresentam

costelas alcançando as submargens e conchas com formato de brasão. O subgênero característico da Antártica, *Antarctolima*, representado pelo fóssil oligocênico da Formação Polonez Cove (Anexo 5) e espécies viventes, também possui costelas alcançando as submargens e conchas com formato similar (piriforme). É provável, portanto, que os representantes presentes na Antártica e no sul da América do Sul tenham surgido no Eoceno de um dos grupos que ocorrem no registro da Nova Zelândia, o que sugere que a linhagem de *Limatula* aqui considerada não se trata de um elemento gondwânico.

c) Gêneros dispersores

Os gêneros dispersores cenozóicos correspondem aos táxons com registro mais antigo no Eoceno e cuja distribuição geográfica e estratigráfica sugere dispersão (Beu *et al.* 1997). Fazem parte desse grupo os elementos neoaustrais que, diferentemente dos demais dispersores cenozóicos, exibem padrão de distribuição antitropical, ou seja, não ocorrem na faixa entre os trópicos (Fleming 1963).

Dentre os gêneros em comum entre a Nova Zelândia e a Antártica, 60% (17 gêneros) representam essa categoria (Fig. 12). Considerando todo o registro de gêneros de bivalves para o Cenozóico da Antártica (123 gêneros), essa porcentagem diminui para 14%. Deve ser ressaltado, entretanto, que esta porcentagem poderia variar se fosse acrescentado na análise o registro paleontológico de outras regiões do Oceano Austral.

Dentre os dispersores cenozóicos (17 gêneros), a maioria (14 gêneros, 82%) possui registro fóssil que sugere dispersão da Antártica para a Nova Zelândia (Fig. 12). Destes 14 gêneros, quase a metade, 43% (*Ostrea*, *Yoldiella*, *Hiatella*, *Oxyperas*, *Saccella* e *Eucrassatella*), teria dispersado da Antártica para a Nova Zelândia ainda durante o Eoceno (Fig. 13 e 14A). O padrão de distribuição desses táxons suporta a hipótese da existência de conexões marinhas de plataforma rasa entre o oeste e o leste da Antártica (“Passagem de

Shackleton” de Zinsmeister 1979b, Stilwell 1996; Fig. 11A) e da província Weddeliana (Zinsmeister 1979a, b, Stilwell 2002) do final do Cretáceo ao Eoceno. No entanto, o registro concorda parcialmente com as reconstituições de correntes marinhas propostas por Lazarus & Caulet (1993) ou Lawver & Gahagan (2003) (Fig. 11). A dispersão teria ocorrido durante o Eoceno, segundo a reconstituição proposta por Lawver & Gahagan (2003), mas no sentido Atlântico-Pacífico, como sugerido por Lazarus & Caulet (1993) (Fig. 14A).

A outra metade dos dispersores cenozóicos, 47% (*Cyclocardia*, *Linucula*, *Cardita*, *Crassostrea*, *Aulacomya*, *Pecten*, *Mytilus* e *Austrochlamys*), sugere dispersão da Antártica para a Nova Zelândia após o Oligoceno inicial (Fig. 12, 13 e 14B-E). A dispersão desses táxons ocorreu provavelmente durante e após o estabelecimento da Corrente Circum-Antártica (~24 Ma, Pfhul & McCave 2005). Uma vez que os mantos de gelo do leste da Antártica se desenvolveram no Oligoceno inicial (Wise 2000, Coxall *et al.* 2005, Tripathi *et al.* 2005) e no oeste durante a metade do Oligoceno ou do Mioceno (Barker & Camerlenghi 2002, Zachos *et al.* 2001), a dispersão teria ocorrido provavelmente margeando a Antártica pelas bordas ocidental atlântica e oriental em direção à Nova Zelândia (Fig. 14B-E). *Limatula*, *Gari* e *Propeamussium* também dispersaram após o Oligoceno inicial, mas pela margem ocidental pacífica, da Nova Zelândia em direção à península Antártica (Fig. 14B e E).

Comparação

Beu *et al.* (1997) realizaram estudo semelhante ao compararem o registro cenozóico de moluscos em comum (33 táxons) entre a Nova Zelândia e sul da América do Sul. A análise evidenciou o grande número de táxons cujo registro aponta para dispersão da Nova Zelândia para a América do Sul entre o final do Oligoceno e início do Mioceno. Esse número corresponde a 22 dispersores potenciais, que diminui para 14 táxons, considerando-se apenas os dispersores cenozóicos. De acordo com os autores, os táxons teriam dispersado após o

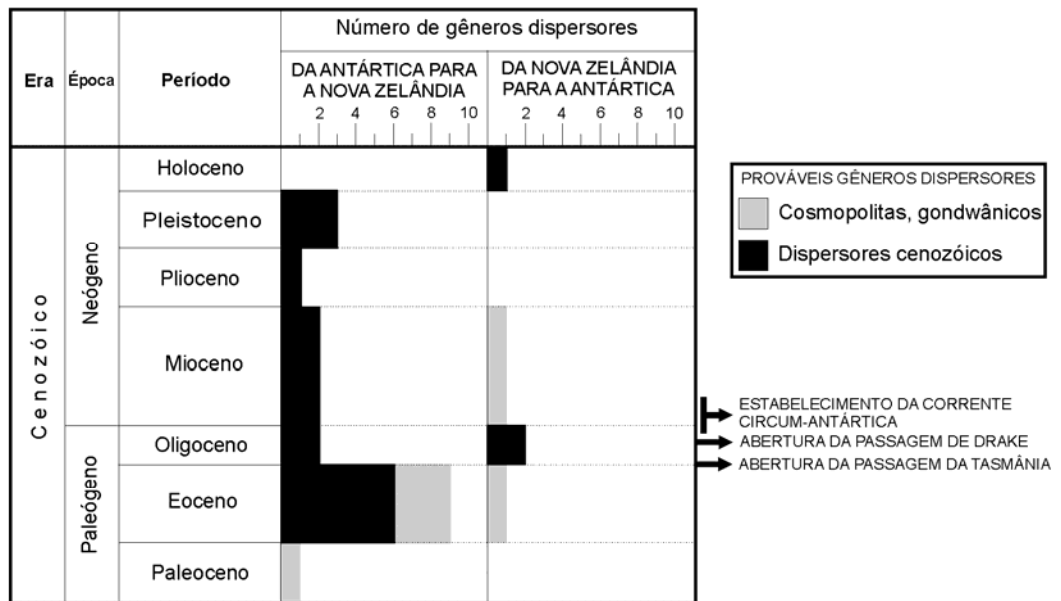


Figura 13: Número de gêneros em comum entre a Antártica e a Nova Zelândia cujo registro sugere dispersão.

estabelecimento da Corrente Circum-Antártica, pela margem ocidental pacífica da Antártica. Outros oito táxons teriam dispersado da América do Sul para a Nova Zelândia, também no intervalo entre o final do Oligoceno e início do Mioceno. Neste caso, a dispersão teria ocorrido após a abertura da passagem de Drake, mas margeando as bordas ocidental atlântica e oriental pacífica da Antártica em direção à Nova Zelândia.

Por outro lado, nove táxons teriam dispersado da América do Sul para a Nova Zelândia do Plioceno ao Pleistoceno, também pela margem ocidental atlântica e a margem oriental pacífica da Antártica. Este novo evento de dispersão, ainda de acordo com Beu *et al.* (1997), teria sido favorecido após eventos de glaciação durante o final do Cenozóico, os quais teriam intensificado a circulação da Corrente Circum-Antártica.

O estudo de Beu *et al.* (1997) revelou que o registro fóssil aponta para a dispersão da maior parte dos gêneros da Nova Zelândia para a América do Sul do final do Oligoceno ao início do Mioceno (como *Limatula* e *Gari* da Figura 14B desta análise). O presente estudo, no

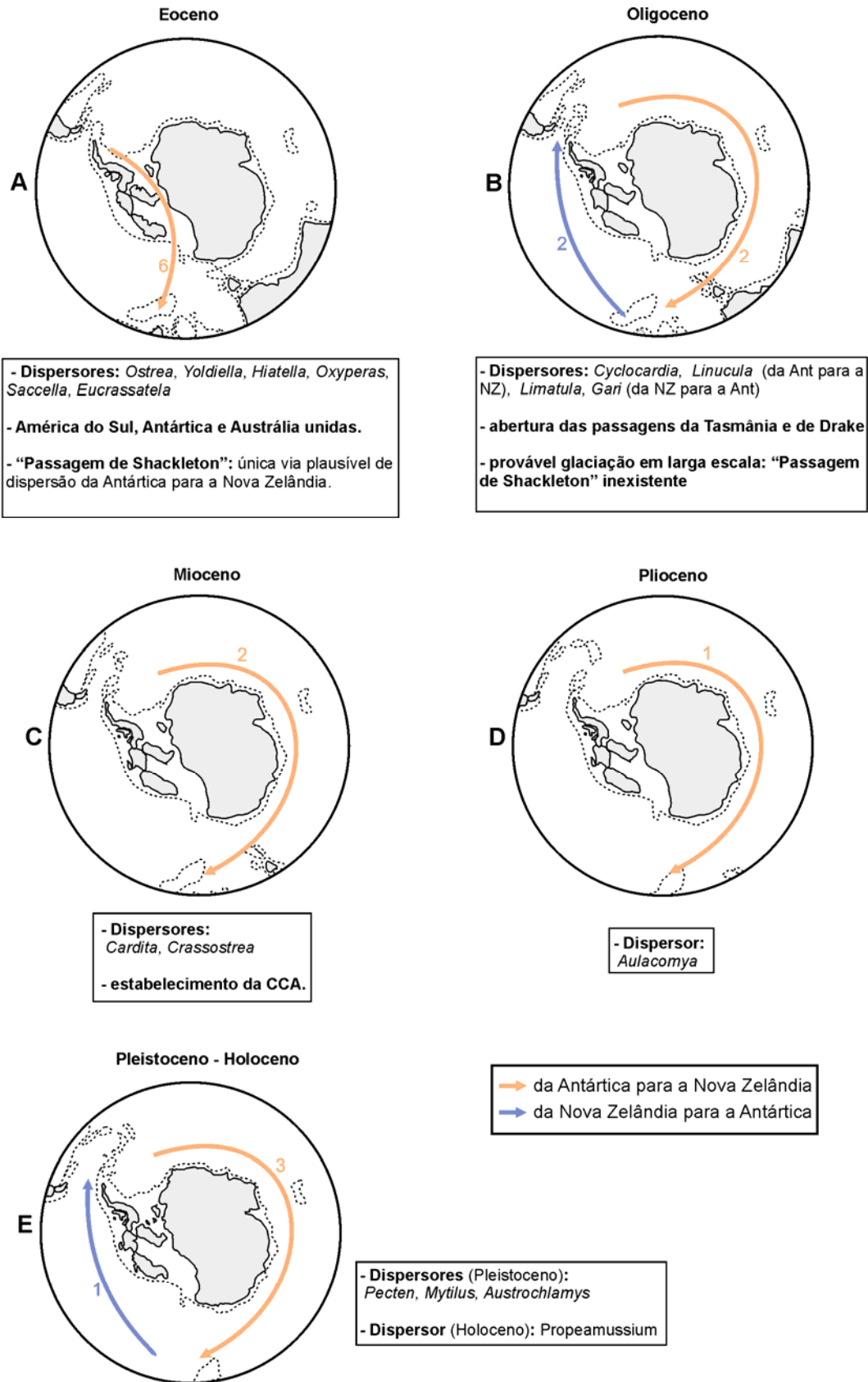


Figura 14: Padrão paleobiogeográfico de dispersão dos gêneros de bivalves cenozóicos registrados em comum para a Nova Zelândia e Antártica. **A**, Eoceno: primeiro pulso de dispersão da Antártica para a Nova Zelândia via “Passagem de Shackleton”. **B**, Oligoceno; **C**, Mioceno; **D**, Plioceno; **E**, Pleistoceno-Holoceno: pequenos eventos de dispersão da Nova Zelândia para a Antártica (seta azul) e da Antártica para a Nova Zelândia (seta laranja) via Corrente Circum-Antártica.

entanto, aponta para dispersão da maioria dos gêneros da Antártica para Nova Zelândia durante o Eoceno (Fig. 14A).

Embora aparentemente discordantes, ambos os estudos convergem para um ponto importante em relação a estudos sobre dispersão, ou seja, a distância percorrida. Beu *et al.* (1997) consideraram a dispersão da Nova Zelândia para o sul da América do Sul mais provável, pois, neste caso, a distância seria menor do que do sul da América do Sul para a Nova Zelândia. Além disso, a dispersão seria possível após o estabelecimento das correntes frias em torno da margem ocidental pacífica da Antártica.

Da mesma forma, no presente estudo, a dispersão seria mais provável *via* “Passagem de Shackleton”, a menor distância a ser percorrida entre península Antártica e Nova Zelândia. Além disso, o registro sugere que a maioria dos táxons teria dispersado durante o Eoceno, quando os mantos de gelo ainda não avançavam sobre a Antártica e correntes marinhas rasas circulavam entre o limite leste-oeste do continente.

Além disso, o presente estudo concorda com as interpretações de Barnes *et al.* (2006), nas quais o intercâmbio de faunas entre a Antártica e regiões periféricas teria caído a níveis muito baixos após o estabelecimento da Corrente Circum-Antártica. De fato, esta análise paleobiogeográfica aponta para ocorrência de pulsos menores de dispersão após o Oligoceno (Fig. 14B-E).

Portanto, embora Beu *et al.* (1997) e a presente análise não abordem completamente a história paleobiogeográfica cenozóica dos moluscos do Oceano Austral, cada um revela parte desse histórico, além de concordar com as interpretações sobre a evolução tectônica e oceanográfica dessa região.

5.3. Significado paleoclimático dos bivalves cenozóicos da Antártica

Como hipótese desta dissertação, as mudanças ambientais ocorridas na região do Oceano Austral durante o Cenozóico, resultantes da separação entre a Antártica e a Austrália e entre a Antártica e a América do Sul, afetaram tanto a configuração biótica, como o padrão de distribuição paleobiogeográfica da região. Em resposta a essas alterações, é esperado que táxons de bivalves característicos de águas frias, mas não polares, mantiveram-se nas regiões de clima mais ameno, ou mesmo dispersaram da Antártica para regiões periféricas durante o isolamento térmico do continente. É esperado também que essa resposta se desse primeiro no leste da Antártica e, posteriormente, no oeste, segundo o sentido de expansão dos mantos de gelo. Muito embora este não seja o objetivo principal desta dissertação, alguns exemplos das regiões oriental e ocidental da Antártica contemplados a seguir parecem corroborar este cenário.

5.3.1. Leste da Antártica

Estudos realizados pelo “Cape Roberts Project” da região do mar de Ross (Anexo 1) revelaram a presença de bivalves modiolídeos em unidades do testemunho CRP-1 de idade atribuída ao Oligoceno inicial (Taviani *et al.* 2000, Taviani & Beu 2001). Atualmente, esse grupo de bivalves da Família Mytilidae ocorre em áreas com clima frio, mas são desconhecidos de localidades com clima polar. Portanto, o registro paleontológico aponta para condições climáticas mais amenas que as modernas, o que confirma interpretações a partir de dados isotópicos (Tripathi *et al.* 2005). De fato, Taviani & Beu (2003) sugeriram que as condições climáticas e ambientais na região do mar de Ross durante esse intervalo foram subpolares, semelhantes à Patagônia ou mesmo Alaska.

Da mesma forma, estudos realizados pelo “Cape Roberts Project” na mesma região registraram a presença dos gêneros de pectinídeos *Austrochlamys* e *Adamussium* em

sedimentos dos testemunhos CRP-1 e CRP2/2A datados do início do Mioceno (Taviani *et al.* 2000, Taviani & Beu 2003). Atualmente, *Adamussium*, além de *Chlamys*, é o único representante da Família Pectinidae ocorrendo na Antártica, enquanto espécies modernas de *Austrochlamys* são encontradas apenas na Patagônia (Jonkers 2003). Tais registros também parecem sugerir um clima miocênico mais ameno que o atual (Taviani & Beu 2003).

5.3.1. Oeste da Antártica

Alguns gêneros de bivalves com afinidades por águas menos frias que as da Antártica pós-esfriamento possuem registro paleobiogeográfico que parece sugerir migração de áreas glaciadas para regiões de clima mais ameno. O gênero *Neilo*, atualmente endêmico da Nova Zelândia, possui representantes fósseis registrados em depósitos de idades atribuídas ao Paleoceno, Eoceno, Oligoceno e Plioceno no sul da América do Sul (Malumian *et al.* 1978, Erdmann & Morra 1985, Villarroel & Stuardo 1998, Stilwell 2003). Na Antártica, os depósitos mais jovens a registrar esse gênero correspondem à Formação Cape Melville, do início do Mioceno (Anexo 4). Assim, o registro desse gênero parece indicar que a ocupação dos seus representantes da América do Sul em direção à península Antártica foi interrompida após a glaciação do oeste da Antártica, restando apenas a linhagem que originou as espécies modernas da Nova Zelândia, de afinidades por águas mais quentes que as antárticas.

Outro exemplo interessante diz respeito aos bivalves pectinídeos, registrados do Paleoceno ao Recente da Antártica, e que estão atualmente representados na Antártica por apenas dois gêneros: *Adamussium*, endêmico desse continente e ocorrendo abundantemente em toda a área da zona de Convergência Antártica (Jonkers 2003), e *Chlamys*, de caráter cosmopolita (SOMBASE). Embora a base de dados organizada por H.J. Griffiths (SOMBASE) inclua apenas um registro da espécie *Chlamys multicolor* no mar de Weddell, diversos autores (Dell 1964, 1990, Jonkers 2003, Stilwell 2003, Berkman *et al.* 2003)

consideraram *Adamussium* como o único pectinídeo antártico moderno. Berkman *et al.* (2003) atribuem a extinção dos pectinídeos à mudança de ambiente preferencialmente ocupado pelos representantes dessa família. Segundo os autores, fósseis de *Adamussium* foram encontrados em depósitos interpretados como típicos de ambientes costa afora (“offshore”), enquanto os demais pectinídeos fósseis foram coletados de depósitos atribuídos a ambientes costeiros de alta energia. Durante o Holoceno, o aprofundamento da plataforma antártica e a expansão do gelo teriam promovido o surgimento de ambientes de baixa energia nas regiões de costa, o que virtualmente resultaria na simulação de ambientes mais profundos nessas regiões costeiras. Além disso, os representantes modernos de *Adamussium* também habitam regiões costeiras, mas em ambientes protegidos, por baías, ou mesmo pela cobertura de gelo marinho. Assim, a mudança no ambiente costeiro teria favorecido a sobrevivência de linhagens ancestrais de *Adamussium*, enquanto os demais pectinídeos teriam sido extintos frente à ausência de ambiente preferencial.

Além disso, trabalhos recentes demonstraram que a espécie moderna *Adamussium colbecki* é, ao nível celular, fisiologicamente dependente de temperaturas mais baixas em relação a outros pectinídeos (Heilmeyer & Brey 2003, Heilmeyer *et al.* 2005). No entanto, a hipótese de adaptação metabólica ao frio (“metabolic cold adaptation”, Peck 2002) ainda não está confirmada (Heilmeyer 2003).

CAPÍTULO 6 – Conclusões

6.1. Taxonomia

- As descrições taxonômicas dos invertebrados das formações Polonez Cove (Oligoceno) e Cape Melville (Mioceno) contribuem para o conhecimento ainda incipiente da biodiversidade de invertebrados Antárticos do Cenozóico, além de introduzir novos dados a respeito da evolução biótica durante os eventos de glaciação no oeste da Antártica (anexos 4 e 5).

6.1. Paleobiogeografia

- A diversidade de bivalves antárticos ao longo do Cenozóico atualmente conhecida não reflete as alterações ambientais ocorridas na região durante esse intervalo.

- O maior número de bivalves registrado em alguns intervalos pode ser explicado pelas condições deposicionais que possivelmente favoreceram a preservação dos fósseis.

- Entre os gêneros de bivalves em comum para o registro cenozóico da Antártica e Nova Zelândia, a maioria possui registro até o Eoceno, o que suporta o isolamento geográfico da Antártica após o Oligoceno e a diminuição de intercâmbio faunístico entre a Antártica e regiões periféricas.

- Apenas 14% dos gêneros em comum para o registro cenozóico da Antártica e Nova Zelândia representam táxons dispersores cenozóicos, o que novamente suporta o isolamento geográfico da Antártica após o Oligoceno e a diminuição de intercâmbio faunístico entre a Antártica e regiões periféricas.

- Quase metade dos gêneros considerados dispersores cenozóicos teriam dispersado da Antártica para a Nova Zelândia durante o Eoceno, o que concorda com a hipótese de

existência de conexões marinhas de plataforma rasa entre o oeste e o leste da Antártica (“Passagem de Shackleton”) e da província Weddeliana do final do Cretáceo ao Eoceno.

- O padrão de distribuição desses táxons concorda parcialmente com as reconstituições de paleocorrentes propostas por Lazarus & Caulet (1993) ou Lawver & Gahagan (2003). A dispersão teria ocorrido durante o Eoceno, como proposto por Lawver & Gahagan (2003), mas no sentido Atlântico-Pacífico, como sugerido por Lazarus & Caulet (1993).

- A outra metade dos dispersores cenozóicos sugere dispersão da Antártica para a Nova Zelândia do Oligoceno ao Holoceno. A dispersão desses táxons teria ocorrido durante e após o estabelecimento da Corrente Circum-Antártica, não mais pela “Passagem de Shackleton”, mas margeando a Antártica pelas bordas ocidental atlântica e oriental em direção à Nova Zelândia.

- O registro de bivalves cenozóicos da Antártica suporta a hipótese de glaciação perene a partir do início do Oligoceno na região leste do continente, e na metade do Oligoceno na região oeste, com temperaturas mais amenas que as observadas atualmente no continente.

- Os bivalves e braquiópodes da Formação Polonez Cove (Oligoceno) aflorante no pico Vauréal possuem registro fóssil que sugere dispersão em dois passos: após a abertura da passagem da Tasmânia, ao longo da margem oriental antártica, e após a abertura da passagem de Drake, ao longo da margem ocidental antártica, o que concorda com as reconstituições paleogeográficas e paleoceanográficas para o Cenozóico da Antártica (Anexo 5).

CAPÍTULO 7 – Bibliografía

- ADIE, R.J. 1962. The geology of Antarctica. In WEXLER, H., RUBIN, M.J. & CASKEY, J.E. (eds.). *Antarctic Research. American Geophysical Union, Geophysical Monographs* **7**: 23-39.
- ALLEY, R.B., BLANKENSHIP, D.D., ROONEY, S.T. & BENTLEY, C.R. 1989. Sedimentation beneath ice shelves: the view from ice stream B. *Marine Geology* **85**: 101-120.
- BARKER, P.F. 2001. Scotia Sea regional tectonic evolution: implications for mantle flow and paleocirculation. *Earth Science Reviews* **55**: 1-39.
- BARKER, P.F. & BURRELL, J. 1977. The opening of Drake Passage. *Marine Geology* **25**: 15-34.
- BARKER, P.F. & CAMERLENGHI, A. 2002. Glacial history of the Antarctic Peninsula from Pacific margin sediments. In BARKER, P.F., CAMERLENGHI, A., ACTON, G.D. & RAMSAY, A.T.S. (eds.). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* **178**: 1-40.
- BARKER, P.F. & THOMAS, E. 2004. Origin, signature and paleoclimatic influence of the Antarctic Circumpolar Current. *Earth Science Review* **66**: 143-162.
- BART, P.J. 2003. Were West Antarctic Ice Sheet grounding events in the Ross Sea a consequence of East Antarctic Ice Sheet expansion during the middle Miocene? *Earth and Planetary Science Letters* **216**: 93-107.
- BARTEK, L.R., SLOAN, L.C., ANDERSON, J.B. & ROSS, M.I. 1992. Evidence from the Antarctic continental margin of Late Paleogene ice sheets: a manifestation of plate reorganization and synchronous changes in atmospheric circulation over the emerging Southern Ocean? In PROTHENO, D.R. & BERGGREN, W.A. (eds.). *Eocene-Oligocene Climatic and Biotic Evolution*. Princeton: Princeton University Press. p. 131-159.
- BEU, A.G. 1985. Pleistocene *Chlamys patagonica delicatula* (Bivalvia: Pectinidae) off southeastern Tasmania and history of its species group in the Southern Ocean. *Department of Mines and Energy, South Australia, Special Publication* **5**: 1-11.
- BEU, A.G. & MAXWELL, P.A. 1990. Cenozoic Mollusca of New Zealand. *New Zealand Geological Survey Paleontological Bulletin* **58**: 518 pp.
- BEU, A.G., GRIFFIN, M. & MAXWELL, P.A. 1997. Opening of Drake Passage gateway and Late Miocene to Pleistocene cooling reflected in Southern Ocean molluscan dispersal: evidence from New Zealand and Argentina. *Tectonophysics* **281**: 83-97.
- BLAKE, D.B. & ARONSON, R.B. 1998. Eocene stelleroids (Echinodermata) at Seymour Island, Antarctic Peninsula. *Journal of Paleontology* **72**: 339-353.

- BIERNAT, G, BIRKENMAJER, K., POPIEL-BARCZYK, E. 1985. Tertiary brachiopods from the Moby Dick Group of King George Island (South Shetland Island, Antarctica). *Studia Geologica Polonica* **81**: 109-141.
- BIRKENMAJER, K. 1980a. A revised lithostratigraphic standard for the Tertiary of the King George Island, (South Shetland Islands, West Antarctica). *Académie Polonaise des Sciences, Terre* **27** (1-2): 49-57.
- BIRKENMAJER, K. 1980b. Discovery of Pliocene glaciations on King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica). *Académie Polonaise des Sciences, Terre* **27** (1-2): 59-67.
- BIRKENMAJER, K. 1980c. Report of geological investigations of King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica), in 1978/79. *Studia Geologica Polonica* **64**: 89-105.
- BIRKENMAJER, K. 1982a. Pliocene tillite-bearing succession of King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica* **74**: 7-72.
- BIRKENMAJER, K. 1982b. Pre-Quaternary fossiliferous glaciomarine deposits at Cape Melville, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica). *Académie Polonaise des Sciences, Terre* **29**: 331-340.
- BIRKENMAJER, K. 1983. Extent and course of the Pliocene glaciations in West Antarctica. *Académie Polonaise des Sciences, Terre* **30** (1-2): 9-20.
- BIRKENMAJER, K. 1984. Geology of Cape Melville area, King George Island (South Shetlands Island, 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. 1988. Tertiary and Interglacial Deposits, South Shetland Islands, Antarctica: Geochronology versus Biostratigraphy (A Progress Report). *Bulletin, Polish Academy of Sciences, Earth Sciences* **36** (2): 133-145.
- BIRKENMAJER, K. 1991. Tertiary glaciation in the South Shetlands Island, West Antarctica: evaluation of data. In THOMSON, M.R.A., CRAME, J.A., THOMSON, J.W. (eds.). *Geological Evolution of Antarctica*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 629-632.
- BIRKENMAJER, K. 1994. Geology of Tertiary glaciogenic deposits and volcanics (Polonia Glacier Group and Chopin Ridge Group) at Lions Rump (SSSI No. 34), King George Island, West Antarctica. *Bulletin, Polish Academy of Sciences, Earth Sciences* **42** (3): 207-221.

- BIRKENMAJER, K. 1995. Basal and intraformation unconformities in Lower Oligocene glaciogenic deposits (Polonez Cove Formation), King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). *Studia Geologica Polonica* **107**: 93-123.
- BIRKENMAJER, K. 1996. Tertiary glaciation and sea-level changes: Record from King George Island (South Shetland Islands), West Antarctica. *Korean Journal of Polar Research* **7** (1/2): 1-10.
- BIRKENMAJER, K. 2001. Mesozoic and Cenozoic stratigraphy units in parts of the South Shetland Islands and Northern Antarctic Peninsula (as used by the Polish Antarctic programmes). *Studia Geologica Polonica* **118**: 188 pp.
- BIRKENMAJER, K. 2003. Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Island, West Antarctica): a geological monograph. *Studia Geologica Polonica* **120**: 73 pp.
- BIRKENMAJER, K. & GAŹDZICKI, A. 1986. Oligocene age of the Pecten Conglomerate on King George Island, West Antarctica. *Bulletin, Polish Academy of Sciences, Earth Sciences* **34** (2): 219-226.
- BIRKENMAJER, K. & LUCZKOWSKA, E. 1987. Foraminiferal evidence for a Lower Miocene age of glaciomarine and related strata, Moby Dick Group, King George Island (South Shetlands Island, Antarctica). *Studia Geologica Polonica* **90**: 81-123.
- BIRKENMAJER, K., ZASTAWNIAK, E. 1986. Plant remains of the Dufayel Island Group (Early Tertiary?), King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). *Acta Paleobotanica* **26** (1, 2): 33-54.
- BIRKENMAJER, K., GAŹDZICKI, A., KREUZER, H. & MÜLLER, P. 1985. K-Ar dating of the Melville Glaciation (Early Miocene) in West Antarctica. *Bulletin, Polish Academy of Sciences, Earth and Planetary Sciences* **33** (1-2): 15-23.
- BIRKENMAJER, K., DELITALA, M.C., NAREBSKI, W., NICOLETTI, M. & PETRUCCIANI, C. 1986. Geochronology of Tertiary island-arc volcanics and glaciogenic deposits, King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). *Bulletin, Polish Academy of Sciences: Earth Sciences* **34** (3): 257-273.
- BIRKENMAJER, K., GAŹDZICKI, A., PUGACZEWSKA, H. & WRONA, R. 1987a. Recycled Cretaceous belemnites in Lower Miocene glaciomarine sediments (Cape Melville Formation) of King George Island, West Antarctica. *Palaeontologia Polonica* **49**: 49-62.
- BIRKENMAJER, K., GAŹDZICKI, A. & WRONA, R. 1987b. Cretaceous and Tertiary fossils in glaciomarine strata at Cape Melville, Antarctica. *Nature* **33** (5912): 56-59.
- BIRKENMAJER, K., SOLIANI, JR, E. & KAWASHITA, K. 1988. Early Miocene K-Ar age of volcanic basement of the Melville Glaciation deposits, King George Island, West Antarctica. *Bulletin, Polish Academy of Sciences, Earth Sciences* **36** (1): 25-33.

- BIRKENMAJER, K., SOLIANI, JR, E. & KAWASHITA, K. 1989. Geochronology of Tertiary glaciations on King George Island, West Antarctica. *Bulletin, Polish Academy of Sciences, Earth Sciences* **37** (1): 27-48.
- BITNER, M.A. & CRAME, J.A. 2002. Brachiopods from the Lower Miocene of King George Island, West Antarctica. *Polish Polar Research* **23** (1): 75-84.
- BLAKE, D.B. & ARONSON, R.B. 1998. Eocene stelleroids (Echinodermata) at Seymour Island, Antarctica Peninsula. *Journal of Paleontology* **72** (2): 339-353.
- BRADSHAW, J.D. 1991. Cretaceous dispersion of Gondwana: continental and oceanic spreading in the south-west Pacific-Antarctic sector. In THOMSON, M.R.A, CRAME, J.A. & THOMSON, J.W. (eds.). *Geological evolution of Antarctica*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 581-585.
- CASATI, R., ANELLI, L.E. & SANTOS, P.R. 2005a. Bivalves from Cape Melville Formation (Early Miocene, King George Island, Antarctica): taphonomic signatures and preliminary interpretations. In 13°. SIMPÓSIO SOBRE PESQUISA ANTÁRTICA, São Paulo. *Programa e Resumos*. São Paulo: Instituto de Geociências. p. 28-29.
- CASATI, R., ANELLI, L.E. & SANTOS, P.R. 2005b. Taphonomy of the Bivalves Concentrations from the Cape Melville Formation (Early Miocene), Moby Dick Group, King George Island, West Antarctica. In 19°. CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA & 6°. CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PALEONTOLOGIA, Aracaju. *CD de Resumos*. Aracaju: Universidade Federal de Sergipe.
- CASATI, R., ANELLI, L.E., SANTOS, P.R. & ALMEIDA, R.P. No prelo. Invertebrados marinhos piritizados como indicadores da dinâmica sedimentar: um estudo de caso do Mioceno Inferior da Ilha Rei George, Antártica Ocidental. In *Paleontologia: Cenários de Vida*. 12pp.
- CASATI, R. (em preparação). *Tafonomia das concentrações fossilíferas da Formação Cape Melville, Grupo Moby Dick (Mioceno Inferior), Antártica Ocidental, e suas implicações paleoecológicas*. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CLARKE, A., ARONSON, R.B., CRAME, J.A., GILI, J.M. & BLAKE, D.B. 2004. Evolution and diversity of the benthic fauna of the Southern Ocean continental shelf. *Antarctic Science* **16** (4): 559–568.
- CRAME, J.A. 1992. Evolutionary History of the Polar Regions. *Historical Biology* **6**: 37-60.
- CRAME, J.A. 1999. An evolutionary perspective on marine faunal connections between southernmost South America and Antarctica. *Scientia Marina* **63** (supl.1): 1-14.

- CRAME, J.A., PIRRIE, D., RIDING, J.B. & THOMSON, M.R.A. 1991. Campanian-Maastrichtian (Cretaceous) stratigraphy of the James Ross Island area, Antarctica. *Journal of the Geological Society, London* **148**: 1125-1140.
- COXALL, H.K., WILSON, P.A., PÄLIKE, H., LEAR, C.H. & BACKMAN, J. 2005. Rapid stepwise onset of Antarctic glaciation and deeper calcite compensation in the Pacific Ocean. *Nature* **433**: 53-57.
- DELL, R.K. 1964. Antarctic and subantarctic Mollusca: Amphineura, Scaphopoda and Bivalvia. *Discovery Report* **33**: 93-250.
- DELL, R.K. 1990. Antarctic Mollusca with special reference to the fauna of the Ross Sea. *Bulletin of the Royal Society of New Zealand* **27**: 1-311.
- DECONTO, R.M. & POLLARD, D. 2003a. Rapid Cenozoic glaciation of Antarctica induced by declining atmospheric CO₂. *Nature* **421**: 245-249.
- DECONTO, R.M. & POLLARD, D. 2003b. A coupled climate-ice sheet modeling approach to the Early Cenozoic history of the Antarctic ice sheet. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* **37**: 53-81.
- DEL RÍO, C.J. 1992. Middle Miocene bivalves of the Puerto Madryn Formation, Valdes Peninsula, Chubut Province, Argentina (Nuculidae-Pectinidae), Part I. *Palaeontographica A* **225**: 1-58.
- DE SANTIS, L., PRATO, S., BRANCOLINI, G., LOVO, M. & TORELLI, L. 1999. The Eastern Ross Sea continental shelf during the Cenozoic: implications for the West Antarctic ice sheet development. *Global and Planetary Change* **23**: 173-196.
- DINGLE, R.V. & LAVELLE, M. 1998a. Late-Cretaceous-Cenozoic climatic variations of the northern Antarctic Peninsula: new geochemical evidence and review. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* **141**: 215-232.
- DINGLE, R.V. & LAVELLE, M. 1998b. Antarctic Peninsular cryosphere: Early Oligocene (c. 30 Ma) initiation and a revised glacial chronology. *Journal of the Geological Society, London* **155**: 433-437.
- DINGLE, R.V., MCARTHUR, J.M. & VROON, P. 1997. Oligocene and Pliocene interglacial events in the Antarctic Peninsula dated using strontium isotope stratigraphy. *Journal of the Geological Society, London* **154**: 257-264.
- DIVENERE, V.J., KENT, D.V. & DALZIEL, I.W.D. 1994. Mid-Cretaceous paleomagnetic results from Marie Byrd Land, West Antarctica: a test of post-100Ma relative motion between East and West Antarctica. *Journal of Geophysical Research B, Solid Earth and Planets* **99** (8): 15115-15139.

- DUDZIAK, J. 1984. Cretaceous calcareous nannoplankton from glaciomarine deposits of the Cape Melville area, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica* **79**: 37-51.
- DULEBA, W., ALMEIDA, V.V. & SANTOS, P.R. 2004. Microfósseis da Formação Cape Melville, Terciário, Ilha do Rei Jorge, Antártica Ocidental. In 42º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Araxá. *Anais...* Araxá: Sociedade Brasileira de Geologia. 1 CD-ROM.
- EAGLES, G. & LIVERMORE, R.A. 2002. Opening history of Powell Basin, Antarctic Peninsula. *Marine Geology* **185**: 195-205.
- ELLIOT, D.H. & TRAUTMAN, D.E. 1982. Lower Tertiary strata on Seymour Island, Antarctic Peninsula. In CRADDOCK, C. (ed.). *Antarctic Geosciences*. Madison: University of Wisconsin Press. p. 287-297.
- ERDMANN, S. & MORRA, G. 1985. Nuevos moluscos de la Formación San Julian, Provincia de Santa Cruz. *Ameghiniana* **22**: 289-295.
- EXON, N.F., KENNETT, J.P., MALONE, M.J., BRINKHUIS, H., CHAPRONIERE, G.C.H., ENNYU, A., FOTHERGILL, P., FULLER, M.D., GRAUERT, M., HILL, P.J., JANECEK, T.R., KELLY, D.C., LATIMER, J.C., NEES, S., NINNEMANN, U.S., NUERNBERG, D., PEKAR, S.F., PELLATON, C.C., PFUHL, H.A., ROBERT, C.M., ROESSIG, K.L., ROEHL, U., SCHELLENBERG, S.A., SHEVENELL, A.E., STICKLEY, C.E., SUZUKI, N., TOUCHARD, Y., WEI, W. & WHITE, T.S. 2001. The Tasmanian Gateway: Cenozoic climatic and oceanographic development, sites 1168-1172. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports* **189**: 98p.
- EYLES, N. & EYLES, C.H. 1992. Glacial depositional systems. In WALKER, R.G. & JAMES, N.P. (eds.). *Facies models: response to sea level change*. Ontario: Geological Association of Canada. p. 73-100.
- FELDMANN, R.A., CRAME, J.A. 1998. The significance of a new nephropid lobster from the Miocene of Antarctica. *Palaeontology* **41**: 807-814.
- FELDMANN, R. M., GAŹDZICKI, A. 1997. A new species of *Glyphea* (Decapoda: Palinura) from the La Meseta Formation (Eocene) of Seymour Island, Antarctica. *Acta Palaeontologica Polonica* **42** (3): 437-445.
- FELDMANN, R. M., GAŹDZICKI, A. 1998. Cuticular ultrastructure of fossil and living homolodromiid crabs (Decapoda: Brachyura). *Acta Palaeontologica Polonica* **43** (1): 1-19.
- FELDMANN, R.M. & ZISMEISTER, W. 1984. New fossil crabs (Decapoda: Brachyura) from the La Meseta Formation (Eocene) of Antarctica; paleogeographic and biogeographic implications. *Journal of Paleontology* **58** (4): 1046-1061.

- FELDMANN, R.M., SCHWEITZER, C.E. & MARENSSI, S.A. 2003. Decapod crustaceans from the Eocene La Meseta Formation, Seymour Island, Antarctica: a model for preservation of decapods. *Journal of the Geological Society* **160**: 151-160.
- FLEMING, C.A. 1963. The nomenclature of biogeographic elements in the New Zealand biota. *Transactions of the Royal Society of New Zealand* **1**(2): 13-22.
- FLEMING, C.A. 1978. The bivalve mollusc genus *Limatula*: a list of described species and a review of living and fossil species in the Southwest Pacific. *Journal of the Royal Society of New Zealand* **8** (1): 17-91.
- FLEMING, E.A. & THOMSON, J.W. 1979. *British Antarctic Territory, Geological Map 1: 500,000*. Cambridge: Series BAS 500G, sheet 2, ed. 1. 1: 500,000.
- FÖSTER, R., GAŹDZICKI, A. & WRONA, R. 1987. Homolodromiid crabs from the Cape Melville Formation (Lower Miocene) of King George Island, West Antarctica. *Palaeontologica Polonica* **49**: 147-161.
- FOSTOWICZ-FRELIK, L. & GAŹDZICKI, A. 2001. Anatomy and histology of plesiosaur bones from the Late Cretaceous of Seymour Island, Antarctic Peninsula. In A. Gaździcki (ed.). Palaeontological Results of the Polish Antarctic Expeditions. Part III. *Palaeontologia Polonica* **60**: 7-32.
- GAŹDZICKI, A. 2003. Tertiary ecosystems of Antarctica. In 29TH INTERNATIONAL POLAR SYMPOSIUM, Kraków. *Abstracts*. Kraków: Nauk Geologicznych. p. 1-3.
- GAŹDZICKI, A. & PUGACZEWSKA, H. 1984. Biota of the "Pecten conglomerate" (Polonez Cove Formation, Pliocene) of the King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica* **79**: 59-120.
- GAŹDZICKI, A. & STUDENCKA, B. 1997. Pectinids (Bivalvia) from the *Pecten* Conglomerate of Cockburn Island and King George islands, Antarctica. In 24TH POLAR SYMPOSIUM, Warszawa. *Polish Polar Studies*. Warszawa: Institute of Geophysics of the Polish Academy of Sciences. p. 53-56.
- HAQ, B.L., HARDENBOL, J. & VAIL, P.R. 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science* **235**: 1156-1167.
- HARA, U. 1994. Bryozoan assemblage from the Lower Miocene Cape Melville Formation of King George Island, West Antarctica. 21ST POLAR SYMPOSIUM, Warszawa. *Abstracts*. Warszawa: Institute of Geophysics of Polar Academy of Sciences. p. 31-32.
- HAY, W.W., DECONTO, R.M., WOLD, C.N., WILSON, K.M., VOIGT, S., SCHULZ, M., WOLD, A.R., DULLO, W.C., RONO, A.B., BALUKHOVSKY, A.N. & SÖDING, E. 1999. Alternative Cretaceous paleogeography. In BARRERA, E. & JOHNSON, C.C. (eds.) Evolution of the Cretaceous ocean-climate system. *Geological Society Special Paper* **332**: 1-47.

- HEILMEYER, O. 2003. *Environment, adaptation and evolution: scallop ecology across the latitudinal gradient*. 157 f. Tese (Doutorado) – Faculdade 2 (Biologia/Química), Universidade de Bremen, Bremen.
- HEILMEYER, O. & BREY, T. 2003. Saving by freezing? Metabolic rates of *Adamussium colbecki* in a latitudinal context. *Marine Biology* **143**: 477–484.
- HEILMAYER, O., HONNEN, C., JACOB, U., CHIANTORE, M., CATTANEO-VIETTI, R. & BREY, T. 2005. Temperature effects on summer growth rates in the Antarctic scallop, *Adamussium colbecki*. *Polar Biology* **28**: 523–527.
- HOLLAND, S.M. 1995. The stratigraphic distribution of fossils. *Palaeobiology* **21**: 92-109.
- JADWISZCZAK, P. 2006. Eocene penguins of Seymour Island, Antarctica: The earliest record, taxonomic problems and some evolutionary considerations. *Polish Polar Research* **27** (4): 287-302.
- JESIONECK-SZYMANSKA, W. 1987. Echinoids from the Cape Melville Formation (Lower Miocene) of King George Island, West Antarctica. *Paleontologia Polonica* **49**: 163-168.
- JOKAT, W., FECHNER, N. & STUDINGER, M. 1997. Geodynamic models of the Weddell Sea embayment in view of new geophysical data. In RICCI, A.C. (ed.). *The Antarctic region: geological evolution and processes*. Siena: Terra Antarctica Publication. p. 453-459.
- JONKERS, H.A. 1998. Stratigraphy of Antarctic late Cenozoic pectinid-bearing deposits. *Antarctic Science* **10**: 161-170.
- JONKERS, H.A. 2003. Late Cenozoic-Recent Pectinidae (Mollusca: Bivalvia) of the Southern Ocean and neighbouring regions. *Monographs of Marine Mollusca* **5**: 125 pp.
- KARCZEWSKI, L. 1987. Gastropods from the Cape Melville Formation (Lower Miocene) of King George Island, West Antarctica. In A. GAŹDZICKI (ed.). *Paleontological Results of the Polish Antarctic Expeditions, Part I. Palaeontologia Polonica* **49**: 127-146.
- KAUFFMAN, E.G. 1973. Cretaceous Bivalvia. In HALLAM, A. (ed.). *Atlas of palaeobiogeography*. Amsterdam: Elsevier. p. 353-383.
- KENNETT, J.P. 1977. Cenozoic evolution of Antarctic glaciation, the circum-Antarctic ocean, and their impact on global paleoceanography. *Journal of Geophysical Research* **82**: 3843-3860.
- KUMP, L.R. 2005. Foreshadowing the glacial era. *Nature* **436**: 333-334.
- LARTER, R.D., CUNNINGHAM, A.P. & BARKER, P.F. 2002. Tectonic evolution of the Pacific margin of Antarctica, 1. Late Cretaceous tectonic reconstructions. *Journal of Geophysical Research B, Solid Earth and Planets* **107**(12): EPM 5, 19p.

- LAWVER, L.A. & GAHAGAN, L.M. 2003. Evolution of Cenozoic seaways in the circum-Antarctic region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **198**: 11-37.
- LAWVER, L.A., GAHAGAN, L.M., & COFFIN, M.F. 1992. The development of paleoseaways around Antarctica. In KENNETT, J.P. & WARNKE, D.A. (eds.). The Antarctic Paleoenvironment: a perspective on global change. *Antarctic Research Series* **56**: 7-30.
- LAWVER, L.A., ROYER, J.Y., SANDWELL, D.T. & SCOTese, C.R. 1991. Evolution of the Antarctic continental margins. In THOMSON, M.R.A, CRAME, J.A. & THOMSON, J.W. *Geological evolution of Antarctica*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 533-539.
- LAZARUS, D. & CAULET, J.P. 1993. Cenozoic Southern Ocean reconstructions from sedimentologic, radiolarian, and other microfossil data. In KENNETT, J.P. & WARNKE, D.A. (eds.). The Antarctic paleoenvironment: a perspective on global change. Part 2. *Antarctic Research Series* **60**: 145-174.
- LEAR, C.H., ELDERFIELD, H. & WILSON, P.A. 2000. Cenozoic deep-sea temperatures and global ice volumes from Mg/Ca in benthic foraminiferal calcite. *Science* **287**: 269-272.
- LIFE SCIENCES SCIENTIFIC STANDING GROUP (LSSSG). 2004. Evolution and biodiversity in the Antarctic: proposal for an Antarctic Research Programme (SCAR). In Report of the SCAR XXVII LSSSG meeting. Bremen: Scientific Committee on Antarctic Research. p. 1-15. (Programme Description).
- LINSE, K., GRIFFITHS, H.J., BARNES, D.K.A. & CLARKE, A. 2006. Biodiversity and biogeography of Antarctic and sub-Antarctic mollusca. *Deep-Sea Research II* **53**: 985-1008.
- LIVERMORE, R., EAGLES, G., MORRIS, P. & MALDONADO, A. 2004. Shackleton Fracture Zone: no barrier to early circumpolar ocean circulation. *Geology* **32** (9): 797-800.
- MACELLARI, C.E. 1988. Stratigraphy, sedimentology and paleoecology of Upper Cretaceous/Paleocene shelf deltaic sediments of Seymour Island. In FELDMANN, R. M. & WOODBURNE, M. O. (eds.). *Geology and paleontology of Seymour Island, Antarctica Peninsula*. Geological Society of America, Memoir **169**: 253-284.
- MALUMIAN, N., CAMACHO, H.H. & GORROÑO, R. 1978. Moluscos del Terciario Inferior de la Isla Grande de Tierra del Fuego, Republica Argentina. *Ameghiniana* **15**: 161-171.
- MILLER, K. G., FAIRBANKS, R.G. & MOUNTAIN, G.S. 1987. Tertiary oxygen isotope synthesis, sea level history, and continental margin erosion. *Paleoceanography* **2**: 1-19.
- NONG, G.T., NAJJAR, R.G., SEIDOV, D. & PETERSON, W.H. 2000. Simulation of ocean temperature change due to the opening of The Drake Passage. *Geophysical Research Letters* **27**: 2689-2692.

- PAGANI, M., ARTHUR, M.A., FREEMAN, K.H. 1999. Miocene evolution of atmospheric carbon dioxide. *Paleoceanography* **14** (3): 273-292.
- PEARSON, P.N. & PALMER, M.R. 2000. Atmospheric carbon dioxide over the past 60 million years. *Nature* **406**: 695-699.
- PECK, L.S. 2002. Ecophysiology of Antarctic marine ectotherms: limits to life. *Polar Biology* **25**: 31-40.
- PFUHL, H. A. & MCCAVE, I.N. 2005. Evidence for late Oligocene establishment of the Antarctic Circumpolar Current. *Earth and Planetary Science Letters* **235**: 715-728.
- POREBSKI, S.J. 1995. Facies architecture in a tectonically-controlled incised-valley estuary, La Meseta Formation (Eocene) of Seymour Island, Antarctic Peninsula. *Studia Geologica Polonica* **107**: 7-96.
- POREBSKI, S.J. & GRADZINSKI, R. 1987. Depositional history of the Polonez Cove Formation (Oligocene), King George Island, West Antarctica: a record of continental glaciation, shallow-marine sedimentation and contemporaneous volcanism. *Studia Geologica Polonica* **97**: 7-62.
- PUGACZEWSKA, H. 1984. Tertiary Bivalvia and Scaphopoda from glaciomarine deposits at Magda Nunatak, King George Island (South Shetlands Island, Antarctica). *Studia Geologica Polonica* **79**: 53-58.
- QUAGLIO, F., ANELLI, L.E. & SANTOS, P.R. 2003. Bivalves from the Cape Melville Formation, Moby Dick Group (early Tertiary), King George Island, Antarctica. *Paleontologia em Destaque* **18** (44): 33-34.
- QUAGLIO, F., ANELLI, L.E. PERINOTTO, J.A.J., SANTOS, P.R. & ROCHA-CAMPOS, A.C. 2004. Invertebrates from the Low Head Member, Polonez Cove Formation (early Tertiary) at Cape Vauréal, King George Island, Antarctica. In 12°. SEMINÁRIO SOBRE PESQUISA ANTÁRTICA, São Paulo. *Boletim de Resumos*. São Paulo: Instituto de Geociências. p. 57-58.
- QUAGLIO, F. & SANTOS, P.R. 2006. Paleotemperatures during the Oligocene in the King George Island, West Antarctica: preliminary results. In 5th SOUTH AMERICAN SIMPOSIUM IN ISOTOPE GEOLOGY, Punta del Este. *Short Papers, Chemostratigraphy and temporal isotopic variations*. Punta del Este: Facultad de Astronomía & Facultad de Ciencias. p. 290-293.
- RONIEWICZ, E., & MORYCOWA, E. 1987. Development and variability of Tertiary Flabellum rariceptatum (Scleractinia), King George Island, West Antarctica. In A. GAŹDZICKI (ed.), Paleontological Results of the Polish Antarctic Expeditions, Part I. *Palaeontologia Polonica* **49**: 83-103.
- SANTOS, P.R. DOS, ROCHA-CAMPOS, A.C., TOMPETTE, R., UHLEIN, A., GIPP, M. & SIMÕES, J.C. 1990. Review of Tertiary glaciation in King George Island, West Antarctica: preliminary results. *Pesquisa Antártica Brasileira* **2** (1): 87-99.

- SHELTEMA, R. S. 1977. Dispersal of marine invertebrate organisms: paleobiogeographic and biostratigraphic implications. In KAUFFMAN, E. B. & HAZEL, J. E. (eds.). *Concepts and Methods of Biostratigraphy*. Pennsylvania: Dowden, Hutchinson and Ross. p. 73-108.
- SCHWEITZER, C.E., FELDMANN, R.M., MARENSSI, S. & WAUGH, D.A. 2005. Remarkably preserved annelid worms from the La Meseta Formation (Eocene), Seymour Island, Antarctica. *Palaeontology* **48** (1): 1-13.
- SMELLIE, J.L., PANKHURST, R.J., THOMSON, M.R.A. & DAVIES, R.E.S. 1984. The geology of the South Shetland Islands. VI Stratigraphy, geochemistry and evolution. *Scientific Reports, British Antarctic Survey* **87**: 1-85.
- SOUTHERN OCEAN MOLLUSC DATABASE (SOMBASE). Base de dados criada em 2004 pelo British Antarctic Survey sob coordenação de GRIFFITHS, H. J. Disponível em: <http://www.antarctica.ac.uk/BAS_Science/programmes2000-2005/ABPPF/SOMBASE/>. Acesso em jun. 2007.
- STAHL, B.J. & CHATTERJEE, S. 2002. A Late Cretaceous Callorhynchid (Chondrichthyes, Holocephali) from Seymour Island, Antarctica. *Journal of Vertebrate Paleontology* **22** (4):848–850.
- STIWELL, J.D. 1996. Eocene mollusca of high southern latitudes: evidence for marine communication between East and West Antarctica. In CONGRESSO PALEOGENO DE AMERICA DEL SUR Y ANTARTIDA, Santa Rosa. *Abstracts Volume*. Santa Rosa: Instituto Antartico Argentino. p. 37-38.
- STIWELL, J.D. 2000. Eocene Mollusca (Bivalvia, Gastropoda and Scaphopoda) from McMurdo Sound: systematics and paleoecologic significance. *Antarctic Research Series* **76**: 261-320.
- STIWELL, J.D. 2002. Geological exploration of Cockburn Island, Antarctic Peninsula. *Polish Polar Research* **23**(1): 47-73.
- STIWELL, J.D. 2003. Patterns of biodiversity and faunal rebound following the K-T boundary extinction event in Austral Paleocene molluscan faunas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **195**: 319-356.
- STIWELL, J.D. & ZINSMEISTER, W.J. 1987. Late Cretaceous fossils from Cockburn Island collected during the 1986-1987 expedition to the Antarctic Peninsula. *Antarctic Journal of the United States* **22** (5): 5-6.
- STIWELL, J.D. & ZINSMEISTER, W.J. 1992. Molluscan systematics and biostratigraphy. Lower Tertiary La Meseta Formation, Seymour Island, Antarctic Peninsula. *Antarctic Research Series* **55**: 192pp.

- STILWELL, J.D. & ZINSMEISTER, W.J. 2000. Paleobiogeographic synthesis of the Eocene macrofauna from McMurdo Sound, Antarctica. *Antarctic Research Series* **76**: 365-372.
- Stilwell, J.D., Harwood, D.M. & Whitehead, J.M. 2002. Mid-Tertiary macroinvertebrate-rich clasts from the Battye Glacier Formation, Prince Charles Mountains, East Antarctica. *Antarctic Science* **14**: 69-73.
- STOREY, B.C. 1991. The crustal blocks of West Antarctica within Gondwana: reconstruction and break-up model. In THOMSON, M.R.A, CRAME, J.A. & THOMSON, J.W. *Geological evolution of Antarctica*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 587-592.
- STUDENKA, B. 1991. A new species of genus *Panopea* (Bivalvia) from the King George Island, Antarctica. *Polish Polar Research* **12** (3): 363-368.
- TAVIANI, M. & BEU, A.G. 2001. Paleogene macrofossils from CRP-3 Drillhole, Victoria Land Basin, Antarctica. *Terra Antartica* **8**: 423-434.
- TAVIANI, M. & BEU, A.G. 2003. The paleoclimatic significance of Cenozoic marine macrofossil assemblages from Cape Roberts Project drillholes, McMurdo Sound, Victoria Land Basin, East Antarctica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **198**: 131-143.
- TAVIANI, M., BEU, A.G. & LOMBARDO, C. 1998. Pleistocene macrofossils from CRP-1 drillhole, Victoria Land Basin, Antarctica. *Terra Antartica* **5** (3): 485-491.
- TAVIANI, M., BEU, A.G. & JONKERS, H.A. 2000. Macrofossils from CRP-2/2A Victoria Land Basin, Antarctica. *Terra Antartica* **7**: 513-526.
- TOGGWEILER, J.R. & BJORNSSON, H. 1999. Drake Passage and paleoclimate. *Journal of Quaternary Science* **15**: 319-328.
- TRIPATI, A., BACKMAN, J., ELDERFIELD, H. & FERRETTI, P. 2005. Eocene bipolar glaciation associated with global carbon cycle changes. *Nature* **436**: 341 – 346.
- 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, Section B: Stratigraphy and Global Studies* **72** (4): 510-523.
- TROEDSON, A.L. & SMELLIE, J.L. 2002. The Polonez Cove Formation of King George Island, Antarctica: stratigraphy, facies and implications for mid-Cenozoic cryosphere development. *Sedimentology* **49**: 277-301.
- UCHMAN, A. & GAŹDZICKI, A. 2006. New trace fossils from the La Meseta Formation (Eocene) of Seymour Island, Antarctica. *Polish Polar Research* **27** (2): 153–170.

VILLARROEL, M. & STUARDO, J. 1998. Protobranchia (Mollusca: Bivalvia) chilenos recientes y algunos fósiles. *Malacologia* **40**: 113-229.

WEBB, P.N., HARWOOD, D.M., MCKELVEY, B.C., MERCER, J.H. & STOTT, L.D. 1984. Cenozoic marine sedimentation and ice-volume variation on the East Antarctic craton. *Geology* **12**: 287-291.

WIEDMAN, L. A., FELDMANN, R. M., LEE, D. E. & ZINSMEISTER, W. J. 1988. Brachiopoda from the La Meseta Formation (Eocene), Seymour Island, Antarctica. *Geological Society of America, Memoir* **169**: 449-457.

WISE, S.W., JR. 2000. The Antarctic Ice Sheet: Rise and Demise? Symposium Issue on Global Warming. *Journal of Land Use & Environmental Law* **15** & *Journal of Transnational Law & Policy* **9**, Summer Supplement: 383-422.

ZACHOS, J.C., STOTT, L.D. & LOHMANN, K.C. 1994. Evolution of Marine Temperatures during the Paleogene. *Paleoceanography* **9**: 353-387.

ZACHOS, J., PAGANI, M., SLOAN, L., THOMAS, E. & BILLUPS, K. 2001. Trends, rhythms, and aberrations in Global Climate 65 Ma to Present. *Science* **292**: 686-693.

ZINSMEISTER, W.J. 1979a. Biogeographic significance of the Late Mesozoic and Early Tertiary molluscan faunas of Seymour Island (Antarctic Peninsula) to the final breakup of Gondwanaland. In GRAY, J. & BOUCOT, A. (eds.). *Historical biogeography, plate tectonics and the changing environment*. Proceedings of the 37th Annual Biology Colloquium and Selected Papers. Corvallis: Oregon State University Press. p. 349-355.

ZINSMEISTER, W.J. 1979b. Changes in diversity and composition of shallow-water molluscan faunas of the southwestern Pacific resulting from the final breakup of Gondwanaland during the early Tertiary. *Abstracts with Programs, Geological Society of America* **11** (7): 547.

ZINSMEISTER, W.J. 1981. Middle to late Eocene invertebrate fauna from the San Julian Formation at Punta Casamayor, Santa Cruz Province, Southern Argentina. *Journal of Paleontology* **55** (5): 1083-1102.

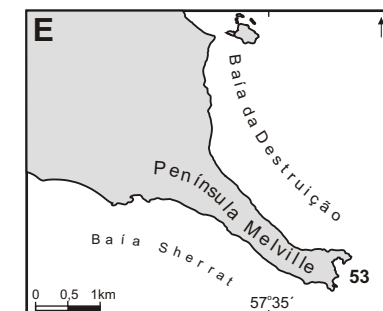
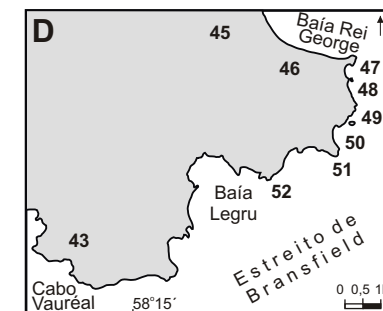
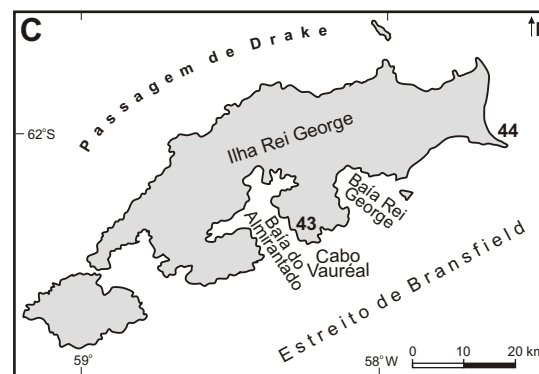
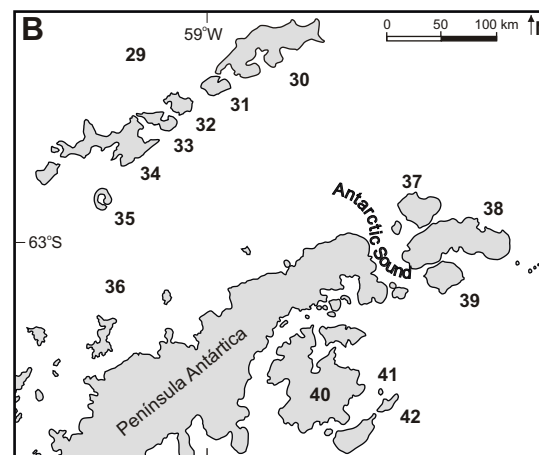
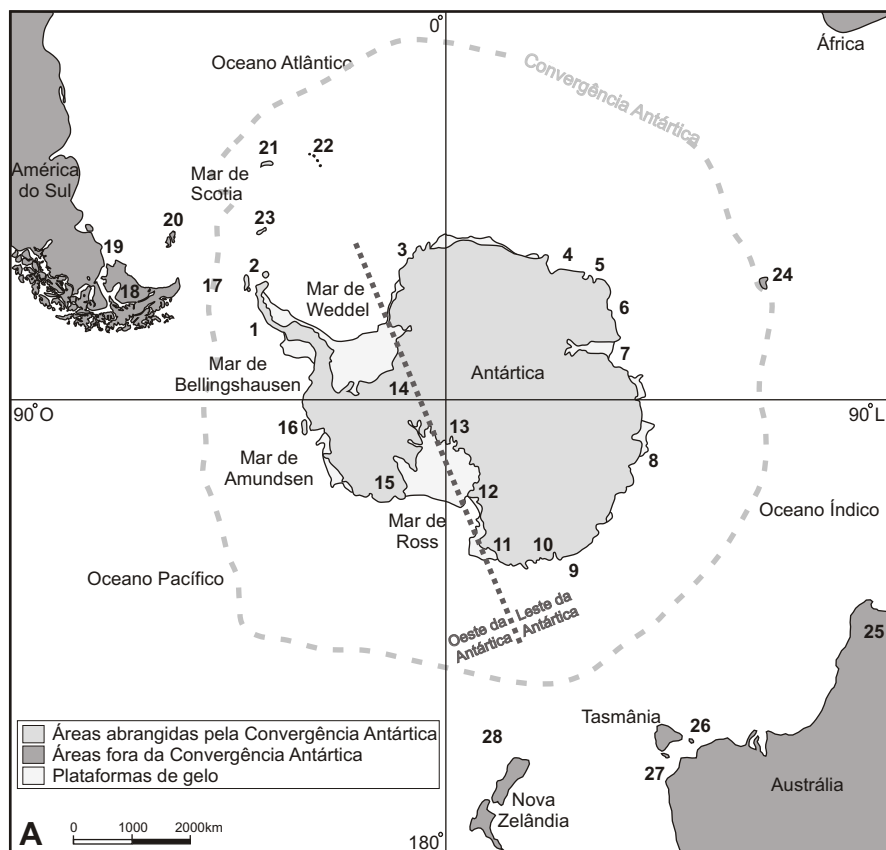
ZINSMEISTER, W.J. 1982. Late Cretaceous-Early Tertiary molluscan biogeography of the southern circum-Pacific. *Journal of Paleontology* **56** (1): 84-102.

ZINSMEISTER, W.J. 1984. Late Eocene bivalves (Mollusca) from the La Meseta Formation, collected during the 1974-75 joint Argentine-American expedition to Seymour Island, Antarctic Peninsula. *Journal of Paleontology* **58**: 1497-1527.

ZINSMEISTER, W.J. 1987. Cretaceous paleogeography of Antarctica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **59**: 197-206.

ZINSMEISTER, W.J. & MACELLARI, C.E. 1988. Bivalvia (Mollusca) from Seymour Island, Antarctic Peninsula. *In* FELDMANN, R. M. & WOODBURNE, M. O. (eds.). *Geology and paleontology of Seymour Island, Antarctica Peninsula*. Geological Society of America, Memoir **169**: 253–284.

Anexo 1: Mapas com as localidades citadas no texto e anexos. **A**, Projeção azimutal eqüidistante do Pólo Sul, com as áreas abrangidas pela Convergência Antártica e adjacências (compilado de Zinsmeister 1982 e projeção cedida por J. P. Rodrigue, Universidade de Hofstra, Hempstead, Nova Iorque). **B**, Extremidade da península Antártica. **C**, ilha Rei George (modificado de Birkenmajer 2001). **D**, região entre o cabo Vauréal e a baía Rei George, ilha Rei George (modificado de Troedson & Riding 2002). **E**, península Melville, ilha Rei George (modificado de Birkenmajer 2001).



Legenda

- | | | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| 1, Península Antártica | 9, Baía Commonwealth | 16, Ilha Thurston | 24, Ilhas Kerguelen | 32, Ilha Robert | 40, Ilha James Ross | 48, Battke Point |
| 2, Ilhas Shetland do Sul | 10, Adélie Land | 17, Passagem de Drake | 25, Baía Carnavon | 33, Ilha Greenwich | 41, Ilha Cockburn | 49, Mazurek Point |
| 3, Cabo Norwegian | 11, Victoria Land | 18, Terra do Fogo | 26, Baía Otway | 34, Ilha Livingston | 42, Ilha Seymour | 50, Enseada Polonez |
| 4, Baía Lutzow Holm | 12, Mc Murdo Sound | 19, Estreito de Magalhães | 27, Passagem da Tasmânia | 35, Ilha Deception | 43, Pico Vauréal | 51, Low Head |
| 5, Baía Amundsen | 13, Montanhas Transantárticas | 20, Ilhas Falkland | 28, Platô Campbell | 36, Arquipélago Palmer | 44, Península Melville | 52, Boy Point |
| 6, Baía Stefansson | 14, Montanhas Ellsworth e Whitmore | 21, Ilhas Geórgia do Sul | 29, Ilhas Shetland do Sul | 37, Ilha D'Urville | 45, Magda Nunatak | 53, Cabo Melville |
| 7, Baía Prydz | 15, Marie Byrd Land | 22, Ilhas Sandwich do Sul | 30, Ilha Rei George | 38, Ilha Joinville | 46, Penhasco Godwin | |
| 8, Baía Vincennes | | 23, Ilhas Okney do Sul | 31, Ilha Nelson | 39, Ilha Dundee | 47, Lions Rump | |

Anexo 2: Espécies de bivalves fósseis cretácicos e cenozóicos provenientes da Antártica.

Família	Espécie	Idade	Unidade	Ocorrência	Referência
Nuculidae	<i>Pronucula</i> sp.	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Leionucula nova</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour, ilha Cockburn	Zinsmeister 1984, Stilwell & Zinsmeister 1987
	<i>Leionucula nova</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Leionucula</i> sp.	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Leionucula palmeri</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Leionucula suboblonga</i>	Cretáceo Superior - Paleoceno	Fm. López de Bertodano e Fm. Sobral	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Leionucula humickeni</i>	Paleoceno	Fm. Sobral	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Acila?</i> sp.	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Ennucula frigida</i>	Mioceno	Fm. Cape Melville	Ilha Rei George (península Melville)	Anexo 4
	<i>Ennucula musculosa</i>	Mioceno	Fm. Cape Melville	Ilha Rei George (península Melville)	Anexo 4
Nuculanidae	<i>Linucula? mcmurdoensis</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Nuculana</i> cf. <i>oxyrhyncha</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Nuculana</i> sp.	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Nuculana</i> sp.	Paleoceno inicial	Fm. Sobral	Ilha Seymour	Stilwell 2003
	<i>Ledina</i> sp.	Paleoceno inicial	Fm. Sobral	Ilha Seymour	Stilwell 2003
	<i>Jupiteria</i> sp.	Paleoceno inicial	Fm. Sobral	Ilha Seymour	Stilwell 2003
	<i>Saccella eoantarctica</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
Neilonellidae	<i>Pseudotindaria? levyi</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
Sareptidae	<i>Yoldiella</i> sp.	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
Yoldiidae	<i>Yoldia peninsularis</i>	Mioceno	Fm. Cape Melville	Ilha Rei George (península Melville)	Anexo 4
Malletiidae	<i>Malletia</i> sp.	Cretáceo Superior	Fm. Snow Hill Island	Ilha Cockburn	Stilwell & Zinsmeister 1987, 2000
	<i>Australoneilo rossi</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Australoneilo gracilis</i>	Paleoceno	Fm. Sobral	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Australoneilo casei</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Neilo beui</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Neilo rongelii</i>	Mioceno	Fm. Cape Melville	Ilha Rei George (península Melville)	Anexo 4
Solemyidae	<i>Solemya peteri</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Solemya rossiana</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Solemya surolongata</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Cuccullaea donaldi</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Cuccullaea raea</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984

Cucullaeidae	<i>Cuccullaea</i> sp. cf. <i>C. raea</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Cockburn	Stilwell 2002
	<i>Cuccullaea elliot</i>	Paleoceno	Fm. Sobral	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Cuccullaea antarctica</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Cuccullaea</i> sp. cf. <i>C. donaldi</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Nordenskjoldia nordenskjoldi</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Austrocuccullaea oliveroi</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
Arcidae	<i>Arca?</i> sp.	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Cockburn	Stilwell & Zinsmeister 1987
Mytilidae	<i>Mytilus</i> cf. <i>magellanicus</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Aulacomya anderssoni</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Aulacomya</i> sp. cf. <i>A. anderssoni</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Brachidontes sandalius</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Modiolus thomsoni</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Modiolus turneri</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Modiolus</i> cf. <i>M. pontotocensis</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
Limopsidae	<i>Limopsis antarctica</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Limopsis</i> (<i>Limopsista?</i>) <i>antarctominuta</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Limopsis psimolis</i>	Mioceno	Fm. Cape Melville	Ilha Rei George (península Melville)	Anexo 4
Bakevelliidae	<i>Phelopteria feldmanni</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
Pulvinitidae	<i>Pulvinites antarctica</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
Pinnidae	<i>Pinna sobrali</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Pinna freneixae</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Pinna</i> sp. cf. <i>P. anderssoni</i>	Cretáceo Superior	Fm. Snow Hill Island	Ilha Cockburn	Stilwell & Zinsmeister 1987
Limidae	<i>Acesta</i> (<i>Antarcticesta</i>) <i>laticosta</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Cockburn	Stilwell & Zinsmeister 1987
	<i>Acesta shackletoni</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Acesta webbi</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Limatula ferraziana</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (pico Vauréal)	Anexo 3
	<i>Limatula</i> sp.	Pleistoceno	Bacia Victoria Land (Testemunho CRP-1)	Victoria Land	Taviani <i>et al.</i> 1998
	<i>Seymourtula antarctica</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano, Fm. Snow Hill Island	Ilha Seymour, Ilha Cockburn	Zinsmeister & Macellari 1988, Stilwell & Zinsmeister 1987
Gyphaeidae	<i>Pycnodonte</i> (<i>Phygraea</i>) cf. <i>vesiculosa</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano, Fm. Snow Hill Island	Ilha Seymour, Ilha Cockburn	Zinsmeister & Macellari 1988, Stilwell & Zinsmeister 1987
	<i>Pycnodonte</i> (<i>Phygraea</i>) <i>seymourensis</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
Ostreidae	<i>Ostrea antarctica</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Ostrea seymourensis</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Ostrea</i> sp.	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Cockburn	Stilwell & Zinsmeister 1987
	<i>Ostrea</i> sp.	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Crassostrea antarctogigantea</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000

	<i>Pecten cf. centralis</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Eburneopecten sp.</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Cyclopecten cf. guppyi</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Chlamys sp.</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour, Ilha Cockburn	Zinsmeister 1984, Stilwell & Zinsmeister 1987
	<i>Chlamys sp.</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Chlamys (Chlamys) cf. proximus</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
Pectinidae	<i>Chlamys (Anatipecten) cf. anatipes</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Chlamys (Swiftopecten) sp.</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Chlamys sp.</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Stilwell 2002
	<i>Austrochlamys marisrossensis</i>	Mioceno inicial	Bacia Victoria Land (Testemunho CRP-1)	Victoria Land	Jonkers 2003
	<i>Austrochlamys gazdzickii</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984, Gazdzicki & Studencka 1997, Jonkers 2003
	<i>Austrochlamys anderssoni</i>	Mioceno final – Plioceno final	Fm. Hobbs Glacier, Fm. Cockburn Island	Ilha James Ross, Ilha Cockburn	Jonkers 2003, Stilwell & Zinsmeister 1987
	<i>Austrochlamys heardensis</i>	Mioceno final	Fm. Drygalski	Ilha Heard	Jonkers 2003
	<i>Austrochlamys tuftensis</i>	Plioceno inicial	Fm. Sorsdal	Vestfold Hills, Victoria Land	Jonkers 2003
	<i>Adamussium colbecki</i>	Plioceno final, Holoceno	Fm. Cockburn Island, Fm. Taylor	Ilha Cockburn, Minna Bluff (mar de Ross)	Jonkers 1998, 2003, Stilwell & Zinsmeister 1987
	<i>Adamussium alanbeui</i>	Oligoceno – Mioceno inicial	Bacia Victoria Land (Testemunho CRP-2/2A), Fm. Polonez Cove, Fm. Cape Melville	Victoria Land, Ilha Rei George (Lions Rump, península Melville)	Jonkers 2003
	<i>Adamussium auristriatum</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (pico Vauréal)	Anexo 3
Entoliidae	<i>Entolium seymourensis</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Entolium sadleri</i>	Cretáceo Superior - Paleoceno	Fm. López de Bertodano e Fm. Sobral	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Entolium sp.</i>	Cretáceo Superior	Fm. Snow Hill Island	Ilha Cockburn	Stilwell & Zinsmeister 1987
Trigoniidae	<i>Eselaevitrigonia regina</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Linotrigonia pygoscelium</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
Cyamiidae	<i>Perrierina sp.</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
Psammobiidae	<i>Gari (Psammobia) patagonica</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
Trapeziidae	<i>Trapezium sp.</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
Corbulidae	<i>Corbula (Varicorbula) cf. hatcheri</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Surobula nucleus</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
Myidae	<i>Mya (Arenomya) nucleoides</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Mya (Arenomya) sowerbyi</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984

Hiatellidae	<i>Hiatella tenuis</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Hiatella harringtoni</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Panopea</i> cf. <i>P. philippii</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Panopea philippii</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Panopea</i> cf. <i>undatoides</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Panopea</i> (<i>Panopea</i>) cf. <i>regularis</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Panopea</i> (<i>Panopea</i>) cf. <i>regularis</i>	Mioceno	Fm. Cape Melville	Ilha Rei George (península Melville)	Anexo 4
	<i>Panopea</i> (<i>Panopea</i>) <i>nucleoides</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Magda Nunatak)	Pugaczewska 1984
	<i>Panopea clausa</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Panopea</i> (<i>Panopea</i>) <i>andreae</i>	Oligoceno final	Fm. Destruction Bay	Ilha Rei George (Wrona Buttress)	Studencka 1991
	<i>Panopea</i> (<i>Panopea</i>) aff. <i>worthingtoni</i>	Oligoceno final	Fm. Destruction Bay	Ilha Rei George (Wrona Buttress)	Studencka 1991
	<i>Panopea</i> sp.	Cretáceo Superior	Fm. Snow Hill Island	Ilha Cockburn	Stilwell & Zinsmeister 1987
Lucinidae	<i>Saxolucina sharmani</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Saxolucina sharmani</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Saxolucina</i> sp.	Paleoceno inicial	Fm. Sobral	Ilha Seymour	Stilwell 2003
	<i>Miltha?</i> sp.	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Lucina scotti</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Lucina</i> sp.	Cretáceo Superior	Fm. Snow Hill Island	Ilha Cockburn	Stilwell & Zinsmeister 1987
Carditidae	<i>Cardita subrectangulata</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Cyclocardia</i> sp.	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Nemocardium</i> (? <i>Pratulum</i>) <i>minutum</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	? <i>Arcturellina</i> sp.	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
Crassatellidae	<i>Pleuromeris</i> cf. <i>volckmanni</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Eucrassatella</i> (<i>Eucrassatella</i>) sp.	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Eucrassatella</i> (<i>Spissatella</i>) sp.	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Eucrassatella wilckensi</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
Sportellidae	<i>Crassatella</i> sp.	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	? <i>Anisodonta truncilla</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
Lahillidae	<i>Lahillia wilckensi</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Lahillia larseni</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Lahillia huberi</i>	Paleoceno	Fm. Sobral	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
Astartidae	<i>Lahillia</i> sp.	Cretáceo Superior	Fm. Snow Hill Island	Ilha Cockburn	Stilwell & Zinsmeister 1987
	<i>Dozyia drygalskiana</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
Thyasiridae	<i>Thyasira townsendi</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Thyasira</i> (<i>Conchocele</i>)	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000

	<i>australosulcata</i>				
	<i>Thyasira</i> sp.	Paleoceno inicial	Fm. Sobral	Ilha Seymour	Stilwell 2003
Mactridae	<i>Mactra</i> cf. <i>M. irizari</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Mactra irigari</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Oxyperas (Pseudoxyperas) ortmanni</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
Gaimardiidae	<i>Gaimardia flemingi</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	? <i>Costokidderia</i> sp.	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Venus (Ventricoloidea) newtoni</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump, Magda Nunatak)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984, Pugaczewska 1984
Veneridae	<i>Timoclea</i> sp.	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Lions Rump)	Gazdzicki & Pugaczewska 1984
	<i>Meretrix</i> cf. <i>iheringi</i>	Oligoceno inicial	Fm. Polonez Cove	Ilha Rei George (Magda Nunatak)	Pugaczewska 1984
	<i>Eurhomalea florentinoi</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Eurhomalea carlosi</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Eurhomalea inflata</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Eurhomalea</i> cf. <i>antarctica</i>	Oligoceno final	Fm. Destruction Bay	Ilha Rei George (Wrona Buttress)	Studencka 1991
	<i>Eurhomalea</i> cf. <i>newtoni</i>	Oligoceno final	Fm. Destruction Bay	Ilha Rei George (Wrona Buttress)	Studencka 1991
	" <i>Eurhomalea</i> " <i>claudiae</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Cyclorismina?</i> cf. <i>C. marwicki</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	? <i>Eumarcia (Atamarcia) robusta</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	? <i>Gomphina iheringi</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Cyclorismina marwicki</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Cockburnia lunulifera</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Marwickia woodburnei</i>	Paleoceno	Fm. Sobral	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
	<i>Cyclorisma chaneyi</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
Pholadomyidae	<i>Goniomya hyriiformis</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
Thraciidae	<i>Thracia askinae</i>	Cretáceo Superior	Fm. López de Bertodano	Ilha Seymour	Zinsmeister & Macellari 1988
Laternulidae	<i>Laternula elliptica</i>	Plioceno	Fm. Cockburn Island	Ilha Cockburn	Stilwell & Zinsmeister 1987
Periplomatidae	<i>Periploma topei</i>	Eoceno	Fm. La Meseta	Ilha Seymour	Zinsmeister 1984
	<i>Periploma acuta</i>	Mioceno	Fm. Cape Melville	Ilha Rei George (península Melville)	Anexo 4
	<i>Periploma</i> cf. <i>P. topei</i>	Eoceno	Blocos erráticos	McMurdo Sound	Stilwell 2000
	<i>Periploma</i> sp.	Paleoceno inicial	Fm. Sobral	Ilha Seymour	Stilwell 2003

Anexo 3: Espécies de bivalves recentes registrados na área da Convergência Antártica (dados da SOMBASE).

Família	Espécie	Ocorrência
Nuculidae	<i>Emucula georgiana</i>	Ilhas South Sandwich
	<i>Nucula austrobenthalis</i>	Mar de Bellingshausen, Mar de Ross
	<i>Nucula falklandica</i>	Ilhas South Orkney, Ilhas South Shetland
	<i>Nucula kerguelenesis</i>	Ilhas Kerguelen
	<i>Pronucula benguelana</i>	Ilhas South Sandwich
Nuculanidae	<i>Nuculana inaequisculpta</i>	Ilhas South Orkney, Ilhas South Shetland, Cabo Noruegia, Baía Terra Nova
	<i>Nuculana ultima</i>	Ilhas South Sandwich
Malletiidae	<i>Malletia concentrica</i>	Ilhas South Sandwich
	<i>Malletia gigantea</i>	Ilhas Kerguelen
	<i>Malletia inequalis</i>	Baía Amundsen
	<i>Malletia pallida</i>	Ilhas South Sandwich
	<i>Malletia pellucida</i>	Cabo Noruegia
	<i>Tindaria antarctica</i>	Ilhas South Sandwich
Sareptidae	<i>Yoldia eightsi</i>	Ilhas South Orkney, Ilhas South Sandwich, Ilhas South Shetland, Península Antártica, Cabo Noruegia, Ilhas Kerguelen, Mar de Ross
	<i>Yoldia isonota</i>	Ilhas Kerguelen
	<i>Yoldia woodwardi</i>	Península Antártica
	<i>Yoldiella antarctica</i>	Ilhas South Orkney, Ilhas South Sandwich, Ilhas South Shetland, Península Antártica, Baía Amundsen, Baía Commonwealth, Mar de Ross
	<i>Yoldiella ecaudata</i>	Ilhas South Shetland, Península Antártica, Mar de Bellingshausen, Mar de Ross
	<i>Yoldiella oblonga</i>	Mar de Weddell, Cabo Noruegia, Baía Vincennes, Mar de Ross
	<i>Yoldiella profundorum</i>	Ilhas South Shetland, Cabo Noruegia, Mar de Bellingshausen
Siliculidae	<i>Propeleda longicaudata</i>	Circum-Antártica
	<i>Silicula rouchi</i>	Ilhas South Orkney, Ilhas South Sandwich, Península Antártica, Mar de Weddell, Cabo Noruegia, Baía Stefansson, Baía Prydz, Baía Commonwealth, Mar de Ross
	<i>Aulacomya ater</i>	Ilhas Kerguelen

Mytilidae	<i>Dacrydium albidum</i>	Ilhas South Shetland, Península Antártica, Mar de Weddell, Baía Prydz, Mar de Ross
	<i>Dacrydium modioliforme</i>	Baía Prydz
Arcidae	<i>Bathyarca sinuata</i>	Mar de Bellingshousen, Mar de Ross
	<i>Bathyarca strebeli</i>	Mar de Weddel
Limopsidae	<i>Limopsis enderbyensis</i>	Mar de Weddel, Baía Lutzow Holm, Baía Amundsen
	<i>Limopsis hirtella</i>	Península Antártica, Cabo Norvegia
	<i>Limopsis knudseni</i>	Península Antártica
	<i>Limopsis lilliei</i>	Ilhas South Sandwich, Ilhas South Orkney, Mar de Weddel, Baía Lutzow Holm, Baía Amundsen, Baía Commonwealth, Mar de Ross
	<i>Limopsis longipilosa</i>	Península Antártica, Cabo Norvegia
	<i>Limopsis marionensis</i>	Circum-Antártica
	<i>Limopsis scabra</i>	Cabo Norvegia, Baía Lutzow Holm, Baía Amundsen, Mar de Ross
	<i>Limopsis scotiana</i>	Ilhas South Sandwich, Ilhas South Shetland
	<i>Limopsis tenella</i>	Ilhas South Sandwich, Península Antártica, Cabo Norvegia
	Philobryidae	<i>Adacnarca limopsoides</i>
<i>Adacnarca nitens</i>		Circum-Antártica
<i>Lissarca miliaris</i>		Ilhas South Orkney, Ilhas South Sandwich, Ilhas South Shetland, Península Antártica
<i>Lissarca notorcadensis</i>		Circum-Antártica
<i>Lissarca rubrofusca</i>		Ilhas South Orkney, Ilhas South Sandwich, Ilhas Kerguelen
<i>Philobrya atlantica</i>		Ilhas South Sandwich
<i>Philobrya barbarta</i>		Mar de Weddell
<i>Philobrya capillata</i>		Ilhas South Sandwich, Península Antártica, Cabo Norvegia
<i>Philobrya</i> cf. <i>P. kerguelensis</i>		Ilhas South Sandwich, Ilhas Kerguelen
<i>Philobrya meridionalis</i>		Cabo Norvegia, Ilhas Kerguelen
<i>Philobrya obesa</i>		Cabo Norvegia, Baía Amundsen
<i>Philobrya olstadi</i>		Ilhas South Shetland
<i>Philobrya quadrata</i>		Ilhas South Orkney, Ilhas South Sandwich, Cabo Norvegia
<i>Philobrya sublaevis</i>		Circum-Antártica
<i>Philobrya wandelensis</i>		Ilhas South Orkney, Ilhas South Sandwich, Península Antártica, Mar de Weddell, Baía Lutzow Holm, Baía Amundsen, Baía Prydz, Baía Commonwealth, Mar de Ross

Limidae	<i>Limatula (Antarctolima) eceptionensis</i>	Ilha Deception, Cabo Norvegia
	<i>Limatula (Antarctolima) hodgsoni</i>	Circum-Antártica
	<i>Limatula (Antarctolima) ovalis</i>	Mar de Weddel, Baía Stefansson, Baía Amundsen, Baía Vincennes, Baía Commonwealth
	<i>Limatula (Antarctolima) pygmaea</i>	Ilhas South Sandwich, Ilhas South Orkney, Ilhas South Shetland, Península Antártica, Ilhas Kerguelen, Baía Commonwealth
	<i>Limatula (Antarctolima) simillima</i>	Mar de Weddel, Baía Lutzow Holm, Baía Amundsen, Mar de Ross
Propeamussiidae	<i>Cyclopecten cf. C. Pteriola</i>	Ilhas South Orkney, Cabo Norvegia
	<i>Cyclopecten gaussianus</i>	Mar de Weddell, Baía Lutzow Holm
	<i>Cyclopecten hexagonalis</i>	Baía Amundsen, Mar de Ross
	<i>Cyclopecten thielei</i>	Baía Commonwealth
	<i>Propeamussium meridionale</i>	Mar de Ross
Pectinidae	<i>Adamussium colbecki</i>	Circum-Antártica
	<i>Chlamys multicolor</i>	Mar de Weddell
Hiatellidae	<i>Hiatella cf. H. arctica</i>	Ilhas Kerguelen
	<i>Hiatella solida</i>	Ilhas South Sandwich, Ilhas South Orkney, Ilhas Kerguelen
Condylocardiidae	<i>Carditella mawsoni</i>	Cabo Norvegia, Baía Stefansson
	<i>Genaxinus bongraini</i>	Península Antártica, Mar de Weddell, Cabo Norvegia
	<i>Genaxinus debilis</i>	Ilhas South Orkney, Ilhas South Sandwich, Península Antártica, Mar de Weddell, Baía Lutzow Holm, Baía Vincennes, Baía Commonwealth, Mar de Ross
Thyasiridae	<i>Thyasira dearborni</i>	Península Antártica, Mar de Weddell, Cabo Norvegia
	<i>Thyasira falklandica</i>	Ilhas South Sandwich, Ilhas South Orkney, Ilhas South Geórgia, Península Antártica
	<i>Thyasira ferruginosa</i>	Ilhas South Sandwich
Erycinidae	<i>Lasaea consanguinea</i>	Ilhas South Sandwich, Cabo Norvegia, Ilhas Kerguelen
	<i>Kellia nimrodiana</i>	Cabo Norvegia, Baía Stefansson, Baía Commonwealth
	<i>Kellia simulans</i>	Ilhas South Shetland, Cabo Norvegia, Mar de Ross
	<i>Kellia suborbicularis</i>	Península Antártica

Kelliidae	<i>Pseudokellya cardiformis</i>	Ilhas South Sandwich, Ilhas South Orkney, Ilhas South Shetland, Cabo Norvegia, Ilhas Kerguelen, Baía Vincennes, Baía Commonwealth, Mar de Ross
	<i>Pseudokellya georgiana</i>	Ilhas South Sandwich
	<i>Pseudokellya gradata</i>	Ilhas South Orkney, Península Antártica, Mar de Weddell, Cabo Norvegia, Mar de Ross
	<i>Pseudokellya inexpectata</i>	Ilhas South Sandwich, Península Antártica
Montacutidae	<i>Montacuta nimrodiana</i>	Ilhas South Shetland, Mar de Ross
	<i>Mysella antarctica</i>	Península Antártica, Baía Amundsen, Baía Vincennes, Mar de Ross
	<i>Mysella charcoti</i>	Ilhas South Orkney, Ilhas South Shetland, Cabo Norvegia, Baía Commonwealth, Mar de Ross
	<i>Mysella gibbosa</i>	Cabo Norvegia, Baía Amundsen, Mar de Ross
	<i>Mysella minuscula</i>	Ilhas South Orkney, Ilhas South Sandwich, Mar de Weddell, Baía Commonwealth
	<i>Mysella ovalis</i>	Baía Lutzow Holm, Baía Amundsen, Ilhas Kerguelen
	<i>Cyamiocardium crassilabrum</i>	Ilhas South Shetland
	<i>Cyamiocardium denticulatum</i>	Ilhas South Sandwich, Península Antártica, Baía Amundsen, Baía Stefansson, Ilhas Kerguelen, Mar de Ross
	<i>Cyamiocardium rotundatum</i>	Baía Vincennes, Baía Commonwealth
Cyamiidae	<i>Cyamiomactra laminifera</i>	Ilhas South Sandwich, Ilhas South Orkney, Ilhas South Shetland, Cabo Norvegia, Mar de Ross
	<i>Cyamiomactra robusta</i>	Cabo Norvegia, Mar de Ross
	<i>Cyamium</i> cf. <i>C. willi</i>	Ilhas South Sandwich
	<i>Ptychocardia rudis</i>	Baía Commonwealth
	<i>Ptychocardia vanhoeffeni</i>	Cabo Norvegia, Baía Commonwealth
Gaimardiidae	<i>Gaimardia kerguelensis</i>	Ilhas Kerguelen
	<i>Gaimardia trapesina</i>	Ilhas South Sandwich, Ilhas Kerguelen
	<i>Kidderia bicolor</i>	Ilhas South Sandwich, Ilhas Kerguelen
	<i>Kidderia minuta</i>	Ilhas Kerguelen
	<i>Kidderia subquadrum</i>	Península Antártica
Carditidae	<i>Cyclocardia astartoides</i>	Circum-Antártica
	<i>Cyclocardia intermedia</i>	Baía Prydz
Condylocardiidae	<i>Carditella mawsoni</i>	Cabo Norvegia, Baía Stefansson
Astartidae	<i>Astarte antarctica</i>	Cabo Norvegia, Baía Amundsen, Mar de Ross

	<i>Astarte longirostris</i>	Ilhas Geórgia do Sul, Cabo Noruegia, Ilhas Kerguelen
Tellinidae	<i>Macoma georgiana</i>	Ilhas South Geórgia, Ilhas South Sandwich
Lyonsiidae	<i>Lyonsia arcaeformis</i>	Circum-Antártica
Thraciidae	<i>Thracia meridionalis</i>	Circum-Antártica
Laternulidae	<i>Laternula elliptica</i>	Ilhas South Sandwich, Ilhas South Orkney, Ilhas South Shetland, Península Antártica, Cabo Noruegia, Baía Lutzow Holm, Ilhas Kerguelen, Baía Vincennes, Baía Commonwealth, Mar de Ross
Poromyidae	<i>Poromya adelaidis</i>	Ilhas South Sandwich, Península Antártica, Cabo Noruegia, Baía Amundsen, Baía Commonwealth, Mar de Ross
	<i>Poromya cf. P. antarctica</i>	Mar de Weddell, Baía Commonwealth
Cuspidariidae	<i>Cuspidaria concentrica</i>	Baía Amundsen, Mar de Ross
	<i>Cuspidaria fragilissima</i>	Mar de Bellingshausen
	<i>Cuspidaria infelix</i>	Ilhas South Sandwich, Ilhas South Orkney, Península Antártica, Mar de Weddel, Mar de Ross
	<i>Cuspidaria multicostata</i>	Cabo Noruegia
	<i>Cuspidaria tenella</i>	Ilhas South Sandwich, Ilhas South Orkney, Península Antártica, Mar de Weddel, Cabo Noruegia, Baía Amundsen, Baía Prydz, Mar de Ross
	<i>Subcuspidaria kerguelensis</i>	Ilhas South Sandwich, Ilhas South Orkney, Península Antártica, Cabo Noruegia, Ilhas Kerguelen, Mar de Ross
	<i>Subcuspidaria minima</i>	Cabo Noruegia

Anexo 4

ANELLI, L.E., ROCHA-CAMPOS, A.C., SANTOS, P.R., PERINOTTO, J.A.J. & QUAGLIO, F. 2006. Early Miocene bivalves from the Cape Melville Formation, King George Island, West Antarctica. *Alcheringa* **30**: 111-132.

Early Miocene bivalves from the Cape Melville Formation, King George Island, West Antarctica

LUIZ E. ANELLI, A.C. ROCHA-CAMPOS, PAULO R. DOS SANTOS, JOSÉ A. DE J. PERINOTTO and FERNANDA QUAGLIO

ANELLI, L.E., ROCHA-CAMPOS, A.C., SANTOS, P.R., PERINOTTO, J.A.J. & QUAGLIO, F., 31.3.2006. Early Miocene bivalves from the Cape Melville Formation, King George Island, West Antarctica. *Alcheringa* 30, 111-132. ISSN 0311 5518.

Seven species of marine bivalves, including six new taxa, are described from the Cape early Miocene Melville Formation which crops out on the Melville Peninsula, King George Island, West Antarctica. The bivalve assemblage includes representatives of the families Nuculidae, *Ennucula frigida* sp. nov., *E. muscosa* sp. nov.; Malletidae, *Neilo (Neilo) rongelii* sp. nov.; Sareptidae, *Yoldia peninsularis* sp. nov.; Limopsidae, *Limopsis psimolis* sp. nov.; Hiatellidae, *Panopea (Panopea)* sp. cf. *P. regularis*; and Pholadomyoidea (*Periploma acuta* sp. nov.). Species studied come from four sedimentary sections measured in the upper part of the unit. Detailed morphologic features of nuculoid and arcoid species are exceptionally well preserved and allow for the first time reconstruction of muscle insertions as well as dentition patterns of Cenozoic taxa. Known geological distribution of the species is in agreement with the early Miocene age assigned to the Cape Melville Formation. The bivalve fauna from Cape Melville Formation is the best known from Antarctic Miocene rocks, a time of complex geologic, paleogeographic and paleoclimatic changes in the continent. The new fauna introduces new taxonomic and palaeogeographic data that bear on the question of opening of sea gateways and distribution of Cenozoic biota around Antarctica.

Luiz E. Anelli [anelli@usp.br], A.C. Rocha-Campos [acrcampo@usp.br], Paulo R. dos Santos, Fernanda Quaglio [quaglio@usp.br], Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, 05508-080, São Paulo, SP, Brazil; José A. de J. Perinotto [perinotto@rc.unesp.br], Instituto de Geociências e Ciências Exatas, IGCE/UNESP e Universidade de Guarulhos, Avenida 24-A, 1515, 13506-900, Rio Claro, SP, Brazil; received 18.8.2004, revised 23.3.2005.

Key words: Early Miocene, bivalves, Cape Melville Formation, West Antarctica.

THE DIVERSE Cenozoic marine biota of the Cape Melville Formation, King George Island, West Antarctica (Fig. 1) has been subject of numerous papers dealing with the brachiopods (Biernat *et al.* 1985, Bitner & Crame 2002), calcareous nannoplankton (Dudziak 1984), crustaceans (Föster *et al.* 1987, Feldman & Crame 1998, Feldmann & Gazdzicki 1997, 1998), foraminifera (Birkenmajer & Luczkowska 1987), echinoids (Jesioneck-Szymanska 1987), cephalopods (Birkenmajer *et al.* 1987b), gastropods (Karczewski 1987), coral (Roniewicz & Morycowa 1987) and plants (Birkenmajer & Zastawniak 1986). Troedson & Riding (2002)

identified several species of palynomorphs including dinoflagellate cysts and other paleomicroplankton, as well as spores and pollen from both the Cape Melville and the underlying Destruction Bay formations.

In spite of their relative abundance in the succession (Birkenmajer 1982, 1984; Birkenmajer *et al.* 1987a, Troedson & Riding 2002, Anelli *et al.* 2003a), bivalves have received little attention and remain undescribed.

Detailed examination and measurement of several sedimentary logs of the two formations along cliffs and on the upper plateau area of Cape Melville Peninsula (Perinotto *et al.* 2003) revealed the presence of well preserved and relatively

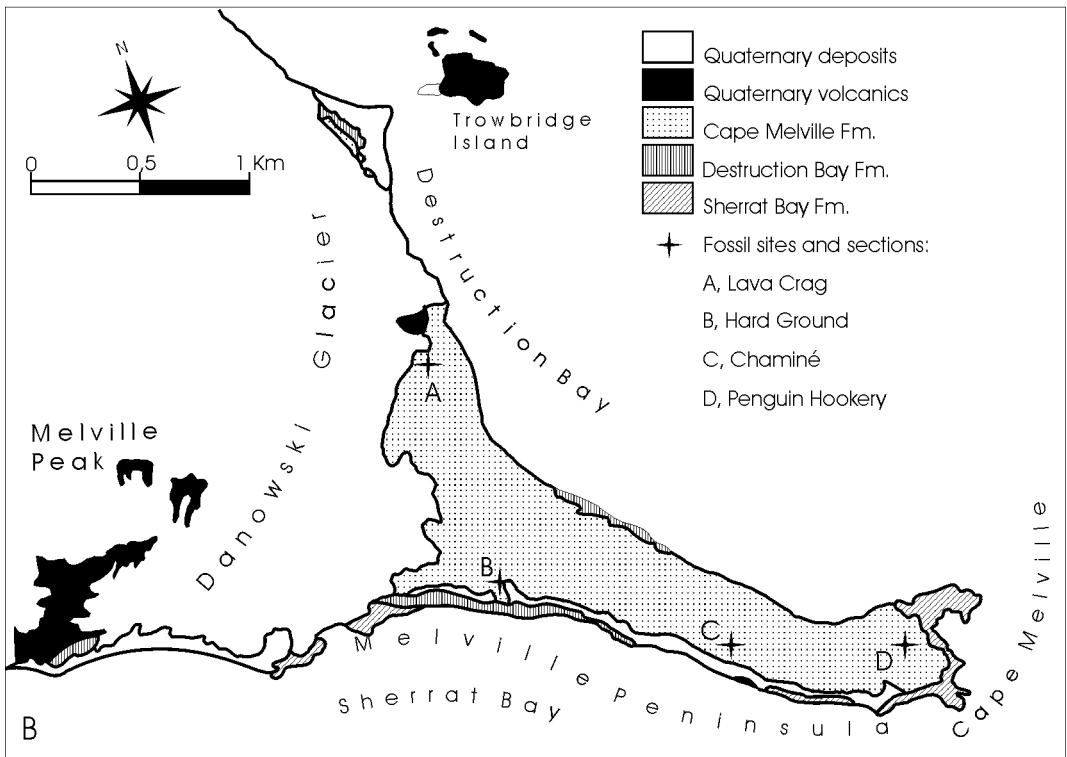
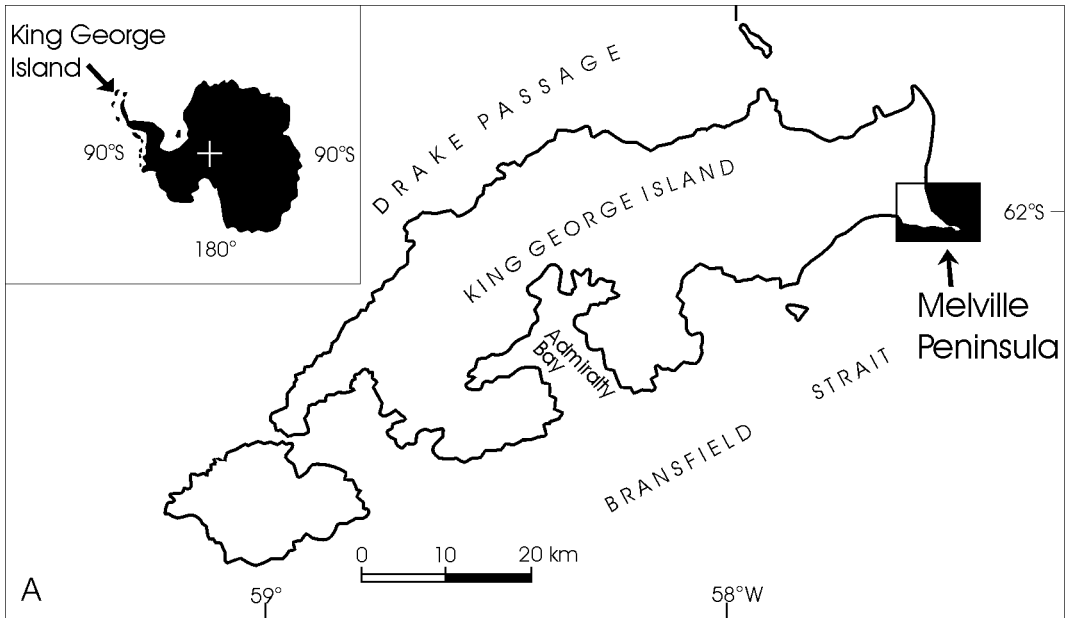


Fig. 1A-B. A, location map. B, generalized geology of Melville Peninsula in King George Island, Antarctica; A-D, fossil sites (adapted from Birkenmajer 1982).

diverse bivalve assemblages found either as isolated elements, often *in situ*, as well as relatively dense shell concentrations, at different levels in the upper part of the Cape Melville Formation (Anelli *et al.* 2003a, b).

These findings are important for several reasons. Firstly, fine preservation of morphological features in many specimens allows the detailed reconstruction of muscle scars and dentition patterns, of great taxonomic value, as well the interpretation of life habits of Cenozoic taxa inadequately known as yet. A more consistent taxonomic treatment of the taxa is fundamental for establishing their affinities with other Cenozoic malacofaunas of the southern continents, and for clarifying their palaeobiogeographic significance. Secondly, taphonomic studies of the fossil shell beds may provide data on palaeoenvironmental conditions during accumulation of the glacially-influenced Cape Melville marine strata. An important possible implication of these studies is the identification of dispersal routes used by marine invertebrates that invaded Antarctic shelf areas coming from warmer southern Atlantic waters, in response to palaeogeographic changes during the separation of South America and West Antarctica (e.g. Zinsmeister 1982, Crame 1999, Stilwell 2000).

The present paper is the first of a series aimed at taxonomically describing the Cenozoic marine bivalve fauna from the Cape Melville Formation, evaluating its taxonomic affinities and provenance, and interpreting taphonomic processes involved in their preservation, in the context of the depositional history of the glacial-marine Cape Melville Formation.

Geological setting and stratigraphy

Bivalves described herein were obtained from outcrops of the Cape Melville Formation at four different localities on Melville Peninsula, northern King George Island, West Antarctica (Figs 1 A-B).

Data on lithofacies and sedimentary environment of the Cape Melville Formation were initially presented by Birkenmajer (1982, 1984) and have been reviewed by Troedson & Riding (2002).

This work, together with data obtained from research under way on Cape Melville area (Perinotto *et al.* 2003, Anelli *et al.* 2003a-b), will serve as a basis for the present synthesis account of the geological and stratigraphic settings of the described molluscan fauna.

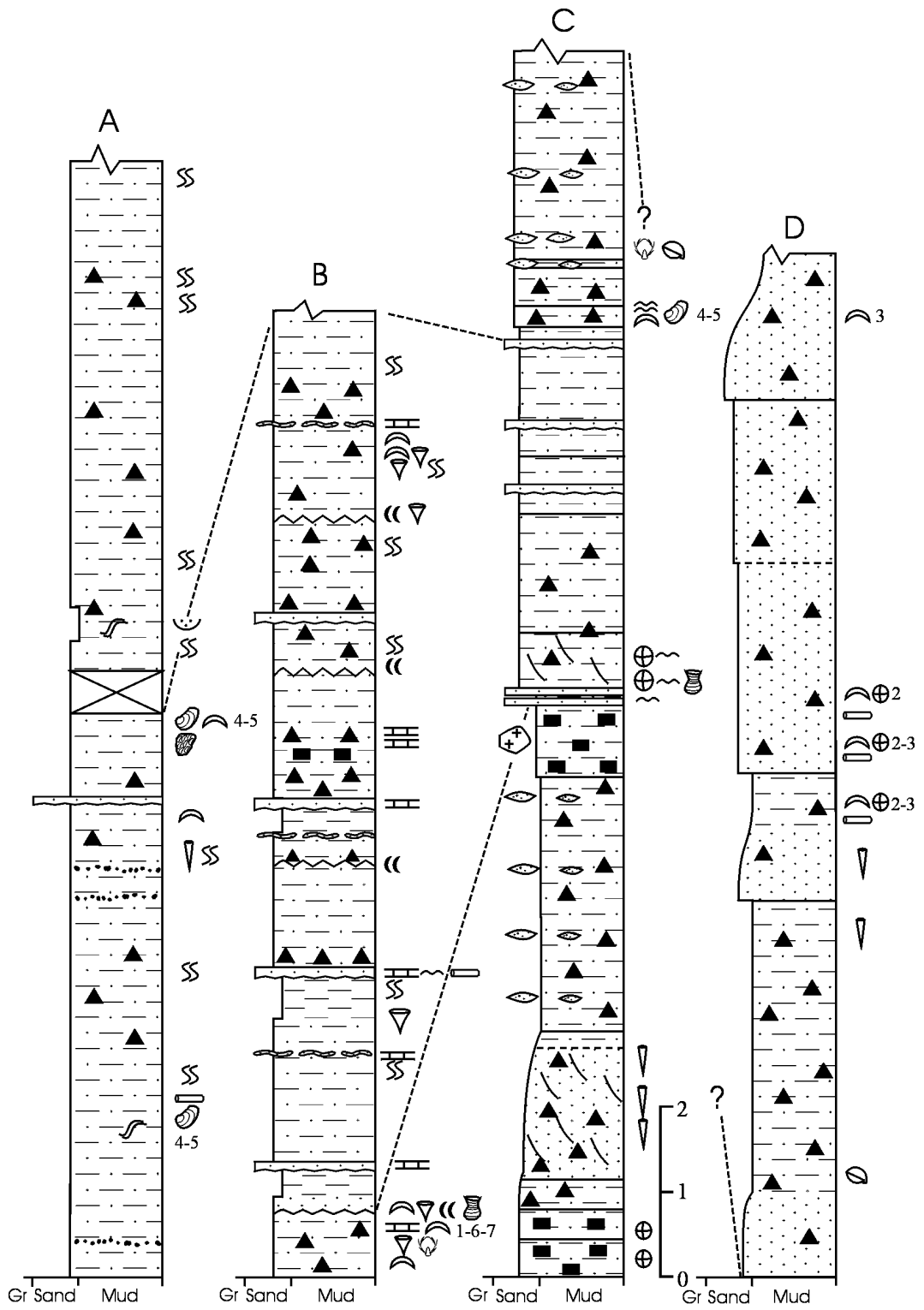
Accordingly, the Cape Melville Formation is described as a relatively thick (up to 150 m) succession predominantly of interbedded silty-sandy mudstone and fine-medium sandstone, with subsidiary silty-sandy diamictite and thin carbonate and tuff layers. Carbonate occurs in the matrix of these strata (Troedson & Riding 2002).

The unit overlies conformably, with a sharp contact, a predominantly cross-bedded, medium-grained sandstone succession, about 70 m thick, that makes up the Destruction Bay Formation. Both units rest unconformably along an irregular erosional surface on top of basalts of the Sherrat Bay Formation (Birkenmajer 2001). The three formations, cut by two sets of diabase dykes and subvertical faults, constitute the Moby Dick Group (Birkenmajer 1982, 1984). The sedimentary strata span the late Oligocene-early Miocene age interval (Birkenmajer 1982, 1984; Troedson & Riding 2002). Chronology of the Sherrat Bay basalts is still poorly defined.

Broadly, the Cape Melville strata are interpreted as a thick marine succession that includes thin, basal coarse clastics (diamictite) followed by predominantly fine sediments (mudstones and fine to medium-sandstones) deposited under palaeoenvironmental conditions varying from middle to outer shelf, during the deglaciation phase of the Melville glaciation (Birkenmajer 1982, 1984; Troedson & Riding 2002, Perinotto *et al.* 2003).

Detailed facies analysis and palaeoenvironmental interpretation of sedimentary logs of the Cape Melville Formation have been presented by Troedson & Riding (2002). Additional stratigraphic, sedimentological and palaeontological data have been obtained by us during three field seasons at Cape Melville Peninsula when the bivalves discussed herein were collected (Anelli *et al.* 2003a-b).

Available radiometric data pertinent to the interpretation of the age of the Cape Melville



Formation have been reviewed by Troedson & Riding (2002) and considered by them to indicate an early Miocene age for the formation. This interpretation is broadly consistent with palaeontological results from invertebrates and palinology (Troedson & Riding 2002).

Stratigraphic sections at the four localities from where fossils were obtained are shown on Fig. 2. Sections comprise strata cropping out on the plateau area of Cape Melville Peninsula and thus, roughly correspond to beds in the upper part of the Cape Melville Formation. Cenozoic strata are, however, regionally (tectonically) tilted towards the east and displaced by normal faults along the Melville Peninsula (Birkenmajer 1982, 1984).

Fine, carbonaticeous, silty-sandy partings identified in section B (Fig. 2) are also frequent in the upper part of the Cape Melville succession logged by us along the northern cliff of the

Melville Peninsula. Lithologic successions in the four sections A-D are sufficiently different to make correlation between them uncertain, in view of the absence of truly extensive key beds of the displacement of strata by faulting. Troedson & Riding (2002) used the presence of fine intercalations of carbonate and tuff beds (respectively, their facies C4 and C5) in the middle or upper middle part of the Cape Melville Formation to correlate sedimentary logs of the unit measured at Crab Creek and Cape Melville. The proposed correlation on Fig. 2 is based on the above elements plus bivalve occurrences.

The lithofacies exposed in the four sections record deposition by a variety of processes, including suspension settling of muds, turbidity currents, rain-out of debris from icebergs, and sporadic mudflows in a marine shelf environment. Similar conditions have been inferred by Troedson & Riding (2002) for two thicker successions of the Cape Melville Formation cropping out along cliffs at different places around the peninsula. According to them, deposition of the Cape Melville Formation occurred on the middle to outer continental shelf or upper slope. The authors pointed out the difficulties of interpreting palaeobathymetry on the basis of sedimentological data in the case of glaciated marine basins. Additional data on this subject may be found from studies in progress on the foraminifera and the taphonomy of bivalve assemblages (Anelli *et al.* 2003b).

Material and methods

Collecting of bivalves either as single or numerous specimens was preceded by taphonomic analysis of occurrences involving identification of biostratigraphic signatures and statistically controlled measurements of orientation and other parameters. These data are being processed and will be submitted in a separate paper. 113 specimens were mechanically prepared and served as the basis for the present study. Their stratigraphic distribution is shown on Fig. 2.

Measurements and symbols

Specimens were measured with reference to the

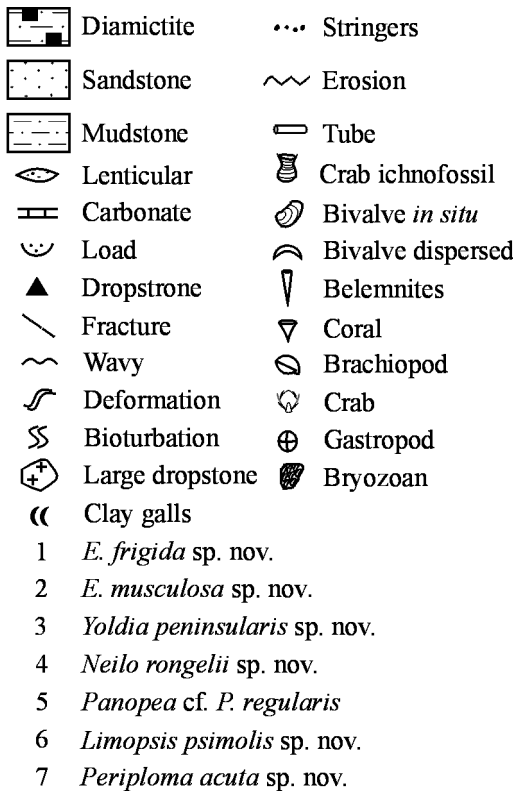


Fig. 2. Sections [see page 114] measured on Melville Peninsula, with legend [above]. A, Lava Crag; B, Hard Ground; C, Chaminé; D, Penguin Rookery.

antero-posterior axis of the shell, corresponding to a straight line obtained by aligning the ventral margins of the adductor muscle scars horizontally (Bailey 1983 cited by Bradshaw 1999). The length of the shell corresponds to the greatest measurement along the antero-posterior axis and height to the greatest measurement at right angles to length. Anterior length corresponds to the distance between the beak and the anterior margin, measured parallel to the antero-posterior axis.

Symbols in tables are as follows: **R/L**, articulated valves; **R**, right valve; **L**, left valve; *, estimated Abbreviations of morphological terms are as follows: **aa**, anterior adductor muscle scar; **apr**, anterior protractor muscle scar; **avf**, anterior visceral floor; **dm**, dorso-median muscle scar; **pa**, posterior adductor muscle scar; **pl**, pallial line; **ppr**, posterior protractor muscle scar; **ps**, pallial sinus; **us**, umbonal muscles scars; **vm**, ventro-median muscle scar.

All specimens are housed in the Coleção Científica (Scientific Collection), Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, under the prefix GP/IT.

Suprageneric taxonomic names utilized for the bivalves are based on the synoptic classification proposed by Amler (1999).

Systematic palaeontology

PALAEOTAXODONTA Korobkov, 1954

NUCULOIDA Dall, 1889

NUCULOIDEA Gray, 1824

NUCULIDAE Gray, 1824

NUCULOMINAE Maxwell, 1988

Ennucula Iredale, 1931

Type species. Nucula obliqua Lamarck, 1819; Recent, Australia.

Discussion. Numerous nuculids from Cenozoic rocks of South America, as well as from the Palaeozoic of North and South America, have been described under the extant genus *Nucula* Lamarck, 1799. Several diagnoses for the genus include polymorphic characters, making

taxonomic designation difficult, especially in the case of fossil species. Allen & Hannah (1986), for example, diagnosed *Nucula* as having an ovate or triangular shell, smooth or with commarginal sculpture, with or without fine riblets on lunule and escutcheon, outer layer of shell with or without radial elements, margin crenulate or not crenulate, periostracum dull or polished; ligament internal, relatively short, oblique or perpendicular to hinge plate. All these characters are controversial, leading to a large range of morphological possibilities, which we consider the reason why so many nuculids are included in *Nucula*. Other authors such as Elias (1957) and Kilburn (1999) regarded the presence of a crenulated inner ventral margin as diagnostic of the genus *Nucula*, a position with which we concur. According to Villarreal & Stuardo (1998) the crenulated aspect is due to the presence of fine radial rods in the shell, which are more distinct close to the ventral margin. Allen & Hannah (1986) recognized three subgenera under *Nucula* (*Nucula*, *Pronucula* and *Brevinucula* Thiele, 1934). Of these, only *Brevinucula*, a name applied to very short, strongly triangular nuculids, lacks a crenulated inner ventral margin. Van de Poel (1955, cited by Maxwell 1988) subdivided the Nuculidae into two groups, one represented by *Nucula*, with a subsurface layer of fine radial rods or prisms of rectangular section, and another represented by *Nuculoma* Cossmann, 1907, where the radial elements are lacking. Rhind & Allen (1992) characterized *Nuculoma* as ovate or triangular shells, smooth or with commarginal sculpture; opisthogyal; ventral margin not crenulate as seen externally but may be microscopically crenulated internally corresponding with marginal limits of radial shell elements; resilifer oblique to hinge plate. *Nuculoma* has as well a smooth shell margin except for some anterior crenulations and it lacks coarse marginal denticulations (Carter 1990) even though micropectenations may be present (Cox 1940). However, according to Beu (2004, written communication), the Jurassic *Nuculoma* has unusually protruding posterior umbones and a very short concave posterior area. Villarreal &

Stuardo (1998) diagnosed *Ennucula* as a suboval, moderately inflate shell, without conspicuous ornamentation, except for commarginal growth lines; with smooth ventral margin and a distinguished oblique chondrophore. Carter (1990, based on Schenck 1934) stated that *Ennucula* [= *Nucula* (*Leionucula*)] is possibly micropectenate but not coarsely denticulate, but also pointed out that both *Nuculoma* and *Ennucula* [= *Nucula* (*Leionucula*)] have entirely smooth shell margins or only coarse marginal denticulations. The type species of *Ennucula*, *Nucula obliqua* Lamarck, 1819, illustrated by Schenck (1934, pl. 3, figs 4, 4a-b) shows the general shape, smooth ventral margin and pattern of muscle scars similar to the material from Cape Melville Formation. The hinge of *E. obliqua*, moreover, has a very narrow chondrophore inclined at a very low angle, so it is almost parallel to the hinge plate, a character not really developed in species of *Ennucula* from Australia and South America, which have a chondrophore inclined strongly downwards, at almost a right angle to the hinge line (Beu 2004, written communication; see also Dell [1964] and Villarroel & Stuardo [1998] for a summary of the extant species of the genus *Ennucula* in South America). From this, *Ennucula* is a more suitable genus (with longer posterior end) for the Cenozoic and Recent Southern Hemisphere taxa.

***Ennucula frigida* sp. nov.** (FigS 3A-H, Table 1)

Material. Holotype, complete articulated shell GP/1T 2100. Paratypes, incomplete articulated shells GP/1T 2115, GP/1T 2113, GP/1T 2119-2123, GP/1T 2129, articulated with complete RV GP/1T 2126, GP/1T 2097, articulated with almost complete LV GP/1T 2105, small articulated internal molds GP/1T 2098, GP/1T 2101, articulated internal mold GP/1T 2099, GP/1T 2129. Section C, Cape Melville Formation, Moby Dick Group, Melville Peninsula, King George Island, Antarctica.

Age. Early Miocene.

Etymology. From Latin *frigida* = cold, referring to the glacial-marine nature of the Cape Melville Formation.

Diagnosis. *Ennucula* with large shell, obliquely ovate; umbones slightly elevated above hinge line with opisthogyrate beaks; external ornament of fine, poorly defined growth lines overlain by well-marked irregularly spaced commarginal growth corrugations; with a maximum of twenty teeth on the anterior and ten on the posterior regions of the shell; chondrophore short and oblique.

Description. Shell obliquely ovate, inequilateral,

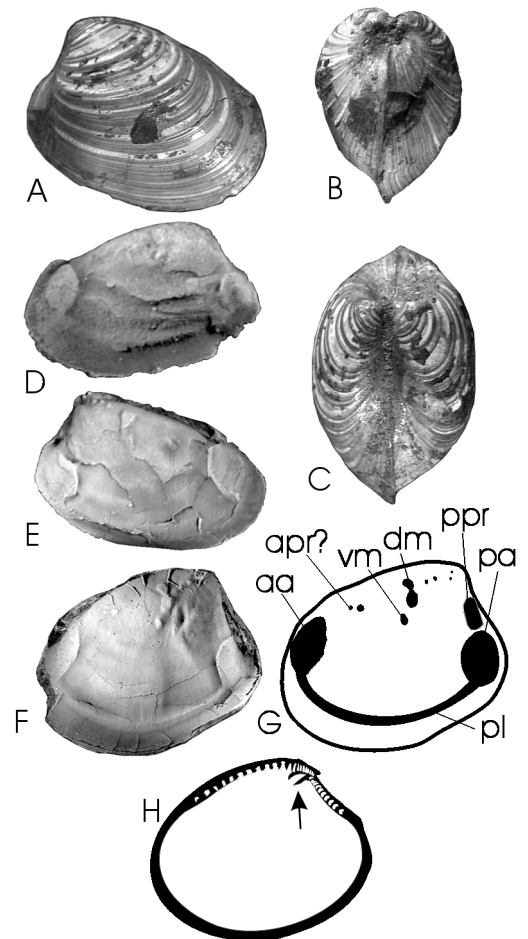


Fig. 3A-H. *Ennucula frigida* sp. nov. **A-C**, holotype GP/1T 2100, articulated valves; **A**, right valve; **B**, posterior view; **C**, dorsal view. **D**, paratype GP/1T 2098, internal mold of articulated valves, left view. **E**, paratype GP/1T 2101 right view of internal mold. **F-G**, paratype GP/1T 2126, internal mold of articulated valves; **F**, left view; **G**, drawing of muscle scars. **H**, paratype GP/1T 2113, drawing of thin section showing taxodont dentition and chondrophore (arrow). All x1.5.

equivalve; moderately elongate. Larger specimens inflated, inflation increasing with size; anterior region greatly extended. Umbones slightly elevated above hinge line, rounded and low; beaks slightly opisthogyrate. A very shallow sulcus runs in internal molds from umbones along mid-height of shell, toward the umbonal muscles scars. Lunule absent; escutcheon small and poorly defined. External ornamentation of irregularly spaced commarginal corrugations. Antero-dorsal and ventral margins subparallel; ventral margin faintly curved; antero- and postero-dorsal margins forming an angle of 92°; postero-ventral angle 65°. Anterior adductor varying from circular to oval, with posterior margin more clearly impressed than anterior; anterior protractor/retractor scars very faintly marked. Posterior adductor scar circular, smaller than anterior; posterior protractor/retractor large and elongate. Pallial line broad, non-sinuate. Immediately anterior to beaks, 4 circular, well marked small scars somewhat aligned running obliquely from beaks, parallel to anterior dorsal margin; 2 large, well marked, coalesced scars, subelliptical and vertically oriented, located anterior to the umbonal scars, are probably related to the dorso-median muscle; immediately below, is a small elliptical scar probably related to the ventro-median muscle; 2 well-marked small scars in the anterior region may be related to the anterior visceral floor muscle. Chondrophores short and oblique. Maximum of 20 and 10 teeth

identified in the anterior and posterior parts of the hinge, respectively; about 10 small sockets are present anteriorly above chondrophore of specimen GP/IT2113.

Comparison. Several taxa included under *Nucula* from the Cenozoic of Argentina are similar to *Ennucula frigida* sp. nov. *Nucula tricesima* von Ihering, 1907, differs from our material in its more triangular shape and smoother external surface. *Nucula semiornata* d'Orbigny, 1846 from the Holocene (Farinati 1978) and middle Miocene of the Puerto Madryn Formation (Del Rio 1992) is smaller and has reticulate external ornament and a crenulated inner ventral margin. Other comparable taxa come from localities elsewhere in West Antarctica. Zinsmeister (1984) recognized *Nucula (Leionucula) nova* Wilckens, 1911 and erected the new species *Nucula (Leionucula) palmeri* from the late Eocene La Meseta Formation, Seymour Island. Both species resemble *E. frigida* sp. nov. in their smooth inner ventral margin. However, the former species differs in its smaller size, strongly prosogyrous beaks, broadly rounded ventral margin and smoother surface. *Nucula (L.) palmeri* is distinguished by its smaller size, strongly prosogyral beak, ornamentation and teeth shape. *Nuculoma livingstonensis* Covacevich, 1976, from Early Cretaceous rocks of Peninsula Byers, Isla Livingston, Antarctica, is quite similar in size and general shape (see Fig. 3), elongation, obesity, and pattern of external ornamentation to the Cape

Specimen	Valves	Length	Height	Width	Anterior	Anterior Elongation	Elongation	Obesity
GP/IT2115	R/L	18.5	16	11.5	16	0.85	1.16	1.39
GP/IT2123	R/L	17	14	9.5	13.5	0.79	1.21	1.47
GP/IT2119	R/L	17	14	10	12	0.70	1.21	1.40
GP/IT2120	R/L	17	13.5	9.0	12.5	0.73	1.26	1.50
GP/IT2126	R/L	17	14	7	13.5	0.80	1.13	2.00
GP/IT2100	R/L	16	13.5	10	14	0.87	1.18	1.35
GP/IT2097	R/L	16	13	8.5	13.5	0.84	1.23	1.52
GP/IT2129	R/L	16	12	9	14	0.87	1.33	1.33
GP/IT2099	R/L	15	13	8	10.5	0.70	1.15	1.62
GP/IT2105	R/L	15	13	8.5	13	0.87	1.15	1.53
GP/IT2121	R/L	15	12	8	13	0.87	1.25	1.50
GP/IT2113	R/L	15	12.5	8	13	0.86	1.20	1.56
GP/IT2122	R/L	15	12.5	7	11	0.74	1.25	1.71
GP/IT210	1R/L	15	12	6	12	0.80	1.50	1.67
GP/IT2098	R/L	125	109	5.5	10	0.8	1.4	1.63

Table 1. Dimensions in mm of representative specimens of *Ennucula frigida* sp. nov.

Melville *E. frigida*, but differs in its larger umbones, projecting above the hinge line, its reduced anterior region, and the straighter posterior margin. *Ennucula frigida* differs from the extant *E. grayi* (Orbigny, 1846) from the Falkland Islands and Chile (Dell 1964, Vilarroel & Stuardo 1998), in having more prominent commarginal ornamentation, more straight and subparallel anterior dorsal and ventral margins, the more concave posterior dorsal margin and the greater number of teeth in the anterior and posterior rows.

***Ennucula muscosa* sp. nov.** (Figs 4A-G, Table 2)

Material. Holotype, almost complete articulated shell GP/1T 2039. Paratypes, articulated internal mold GP/1T 2041, 2043, 2057, 2074, 2088, incomplete articulated GP/1T 2072, GP/1T 2087, articulated with complete RV GP/1T 2044, articulated with complete LV GP/1T 2040. Section D, Cape Melville Formation, Moby Dick Group, Melville Peninsula, King George Island, Antarctica.

Age. Early Miocene.

Etymology. From Latin *muscosa* = muscular, referring to the numerous muscle insertions present in the species.

Diagnosis. Very large, inflated *Ennucula*; external ornament of irregularly spaced commarginal costae; lacking lunule; escutcheon well defined, cordate in shape.

Description. Shell obliquely ovate, inequilateral, equivalve; elongation equate; inflated; anterior region greatly extended. Umbones slightly elevated above hinge line, rounded and low; beaks slightly opisthogyrate. A very shallow sulcus runs in internal moulds from umbones to mid height of shell, posteriorly to umbonal muscles scars. Lunule absent; escutcheon well defined, cordate in shape. External ornament of fine, poorly defined growth lines overlaid by irregularly spaced commarginal costae. Antero-dorsal and ventral margins form an angle of 25°; ventral margin curved; antero- and postero-

dorsal margins form an angle of nearly 78°; postero-ventral margins form an angle of nearly 55°. Anterior adductor varying from circular to oval, with posterior margin more clearly impressed than anterior; anterior protractor/retractor scar well marked, small, elongate, separated from adductor, positioned behind the final segment of the anterior row of teeth. Posterior adductor scar smaller than anterior, round. Pallial line broad, non-sinuate. Immediately anterior to beaks, six small, well-marked, circular umbonal scars, somewhat aligned, run obliquely from beaks towards the anterior dorsal margin; two large, well-marked, separate scars occur anteriorly to umbonal scars: the superior is nearly circular, and is probably related to the dorso-medial muscle scar; the inferior is droplet-shaped, probably related to the ventro-medial muscle scar; immediately below, a row of four small scars, variable in size and shape, runs obliquely to the long axis of the

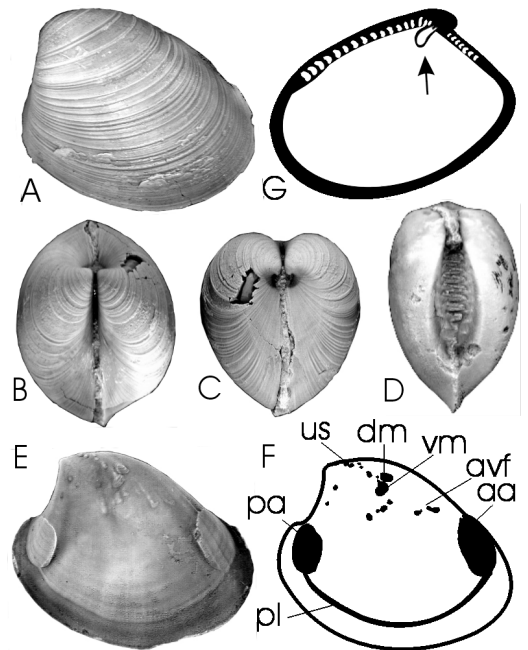


Fig. 4A-G. *Ennucula muscosa* sp. nov. A-C, holotype GP/1T 2039, articulated valves; A, right view; B, dorsal view; C, posterior view. D, paratype GP/1T 2043, internal mold of articulated valves, anterior dorsal view. E-F, paratype GP/1T 2040, internal mold; E, right view; F, drawing of muscle scars; G, drawing of thin section showing taxodont dentition and chondrophore (arrow). All x1.5.

shell; 2 irregular scars of medium size occur on the anterior portion of the shell, probably related to the anterior visceral floor scar; on the posterior regions, two small, circular scars are present. Taxodont dentition not completely visible; maximum of 17 teeth on the anterior and 7 on the posterior parts of the hinge in specimen GP/1T 2087.

Comparison. *Ennucula musculososa* sp. nov. differs from *Ennucula frigida* sp. nov. in being larger, with external ornament of well defined costae, in the shape of the ventral margin, in the smaller antero- and postero-dorsal angle, in the obtuse postero-ventral angle, in the smaller elongation and greater obesity index, in the larger number of muscle insertions in the umbonal region, and in the different arrangement of the scars. The species differs from *N. livingstonensis* in its general shape, its concave posterior dorsal margin and the greater number of teeth in the posterior row. Figure 5 shows a shell length/height scatter diagram for the species *E. musculososa* sp. nov., *E. frigida* and *N. livingstonensis*. *E. musculososa* is very similar in shape to *E. grayi* (Orbigny, 1846) (Dell 1964, Vilarroel & Stuardo 1998), but differs in having a less convex anterior dorsal margin, a straight posterior dorsal margin, more prominent growth lines and more teeth in the anterior and posterior rows. Stilwell (2000) identified *Leionucula nova* (Wilkins, 1911) from Eocene rocks of McMurdo Sound, Antarctica; this is very similar in outline to *E. musculososa*, but the

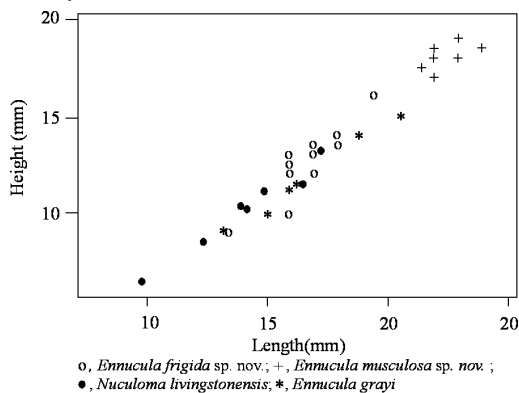


Fig. 5. *Ennucula frigida* sp. nov., *E. musculososa* sp. nov., *E. grayi* and *N. livingstonensis*, shell length/height bivariate scatter diagram.

internal features were not described and the species has a more convex anterior dorsal margin and smooth external shell surface.

NUCULANOIDEA Adams & Adams, 1858

MALLETIIDAE Adams & Adams, 1858

Neilo Adams, 1852

Type species. *Neilo cumingii* Adams, 1852 (= *Nucula australis* Quoy & Gaimard, 1835); Recent, New Zealand.

Discussion. According to McAlester (1969, N233) bivalve species assigned to *Neilo* are elongate, thick-shelled, with a strong com-marginal sculpture, a blunt posterior and a strong pallial sinus. Marshall (1978) diagnosed *Neilo* as a “shell differing from *Malletia* Des Moulins, 1832, mainly in much stronger development of hinge, particularly anteriorly”; and the subgenus *Neilo* (*Neilo*) Adams as having an “inflated shell with posterior angulation; usually thick, large (length up to 53 mm), and sculptured with prominent commarginal ribs”, differing from *Neilo* (*Pseudomalletia*) Fischer, 1886 which has a small shell, with a smooth external surface. Allen & Hannah (1986) added other characters diagnostic for the taxon, namely, shell relatively wide, moderately elongate and posteriorly extended, postero-dorsal margin straight or slightly concave, carinate, posteriorly truncate or slightly rostrate, postero-ventral margin somewhat sinuous, two rounded radial ridges from umbo to posterior margin in some species; hinge plate well developed; numerous chevron teeth, anterior and posterior series separate and may differ in size (anterior larger); ligament external.

Neilo (*Neilo*) **rongelii** sp. nov. (Figs 6A-P, Table 3)

Material. Holotype, articulated valves GP/1T 2132. Paratypes, complete RV GP/1T 2141, almost complete RV GP/1T 2143, almost complete articulated internal mold GP/1T 2154, incomplete articulated internal mold GP/1T 2153, internal mold of RV GP/1T 2145, almost complete RV GP/1T 2138, GP/1T 2144, almost complete LV GP/1T 2151, GP/

Specimen	Valves	Length	Height	Width	Anterior	Anterior Elongation	Elongation	Obesity
GP/1T2041	R/L	23	18.5	13.5	18	0.78	1.24	1.37
GP/1T2074	R/L	22	18	12	17	0.77	1.22	1.50
GP/1T2057	R/L	22	18	12	17	0.77	1.22	1.50
GP/1T2044	R/L	22	19	15	20	0.90	1.16	1.27
GP/1T2039	R/L	21	18	15	16	0.76	1.20	1.54
GP/1T2040	R/L	21	18.5	12	14	0.67	1.13	1.54
GP/1T2043	R/L	21	17	12	18	0.85	1.23	1.42
GP/1T2088	R/L	21	17	12	17.5	0.83	1.23	1.42
GP/1T2072	R/L	21	18	12.5	16	0.76	1.17	1.44
GP/1T2087	R/L	20.5	17.5	11.5	18	0.88	1.17	1.52

Table 2. Dimensions in mm of representative specimens of *Ennucula musculosus* sp. nov.

1T 2146, GP/1T 2149. Sections A and D, Cape Melville Formation, Moby Dick Group. Melville Peninsula, King George Island, Antarctica.

Age. Early Miocene.

Etymology. Referring to the polar ship *Ary Rongel, H44*, that gave us support in the field work in Antarctica during the summer operation in 2003.

Diagnosis. *Neilo (Neilo)* with large shell, very elongate; number of costae nearly 1.3 per mm on the mid height; umbones large and well elevated above the hinge line, number of teeth in the posterior region nearly double that in the anterior.

Description. Shell very thick, varying in length from 30-59 mm, subrectangular, inequilateral, equi-valve, very elongate, inflated; anterior region extended. Umbonal region large, elevated above hinge line; beaks slightly prosogyrous. Lunule and escutcheon well defined. External ornament of strong, commarginal costae, one per millimeter on average. A prominent umbonal ridge runs from the umbo to the postero-ventral angle of the shell, delimiting a posterior, undulated area subdivided by a conspicuous sulcus that runs from umbo toward posterior end of the shell. Antero-dorsal margin slightly convex; posterior-dorsal margin slightly concave, anterior margin short, round; ventral margin faintly convex; posterior margin obliquely truncated, bilobate. A shallow, large umbonal sulcus runs from umbo to ventral margin of shell on internal moulds. Muscle scars isomyarian. Anterior adductor scar smaller,

weakly marked, oval to irregular, bearing irregular small crests, subcircular, close to antero-dorsal angle of shell. Posterior adductor scar faintly marked, subcircular, close to the end of the posterior row of teeth. Anterior and posterior retractors absent or not preserved. Pallial line well marked, wide, varying in width between specimens, the ventral margin well defined, the dorsal margin irregular, deeply sinuate. The pallial line reaches the posterior and anterior adductor scars bordering the ventral margin of the scars. A "Y"-shaped scar runs obliquely from pallial line toward umbo in the anterior portion of the shell; its shorter anterior arm ends in the dorsal umbonal region; the longer, posterior one reaches the hinge; both arms have expanded ends. A small scar is present close to the hinge margin close to the beaks on both valves. Anterior and posterior parts of hinge diverge at 148°. Hinge very thick; 15 teeth anterior and 27 on posterior parts of hinge. Chondrophore not observed.

Comparison. *Neilo ornata ortmani* Erdman & Morra, 1985, from the San Júlían Formation, Eocene-Oligocene of Argentina, closely resembles *Neilo (Neilo) rongelii* sp. nov., but is distinguished from the latter by: its smaller size (the holotype is 33mm long, nearly half the size of the largest *N. rongelii* sp. nov.); depressed umbones; length proportion of anterior to posterior rows of teeth (55% in *N. ornata ortmani* and 59% in *N. rongelii* sp. nov.); and fewer teeth. Another close South American species, *Neilo doellojuradoi* Malumian *et al.*, 1978 from Eocene of Tierra del Fuego, Argentina,

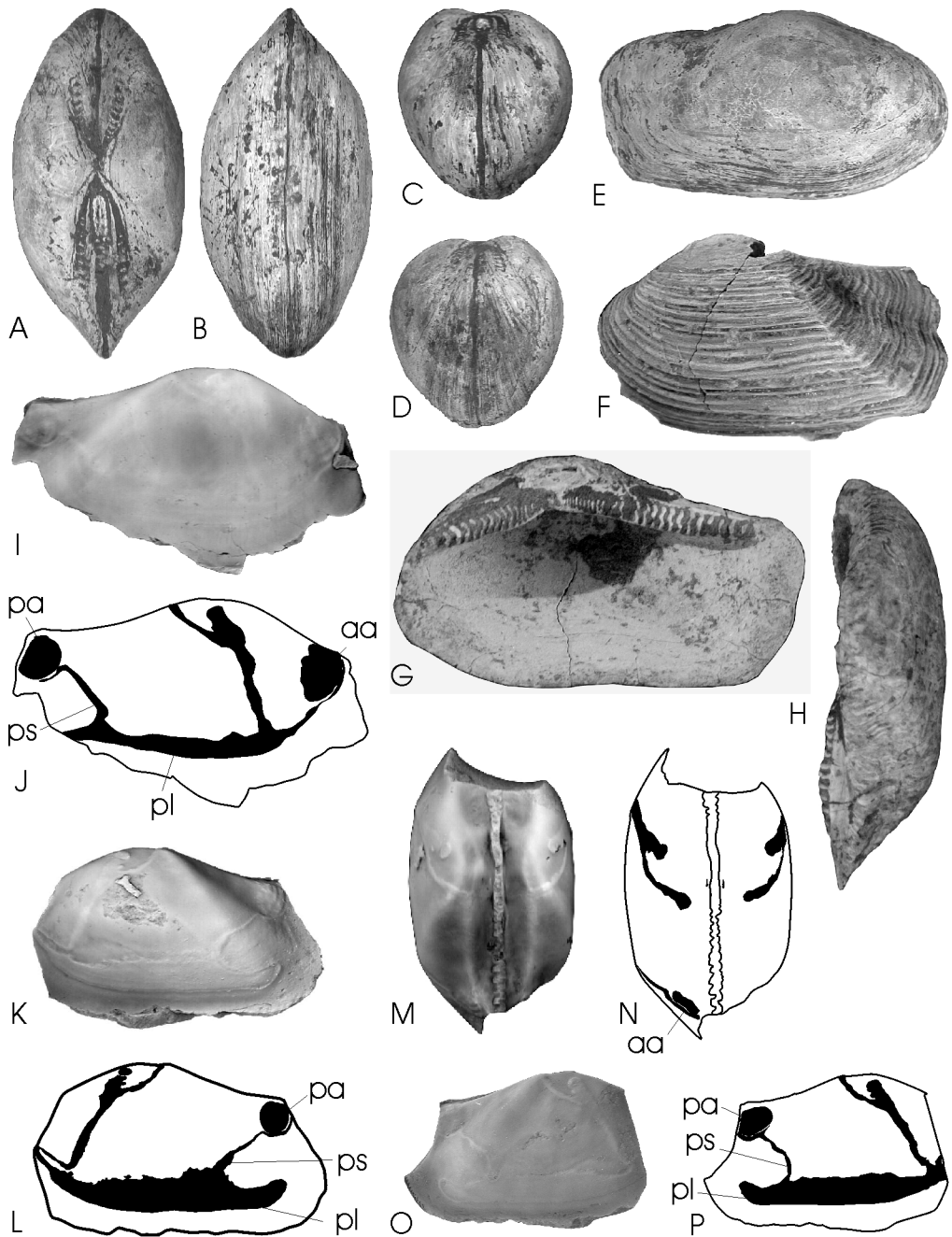


Fig. 6A-P. *Neilo (Neilo) rongelii* sp. nov. A-E, holotype GP/IT 2132, articulated valves; A, dorsal view; B, ventral view; C, posterior view; D, anterior view; E, right view. F, paratype GP/IT 2151, left view. G-H, paratype GP/IT 2141, disarticulated, right view; G, internal view of right valve; H, dorsal view of right valve. I-J, paratype GP/IT 2154; I, internal mold of articulated valves, right view; J, drawing of muscle scars. K-P, paratype GP/IT 2153, internal mold of articulated valves; K, left view; L, drawing of muscle scars, left view; M, dorsal view; N, drawing of muscle scars, dorsal view; O, right view; P, drawing of muscle scars, right view. All x1.

Specimen	Valves	Length	Height	Width	Anterior	Anterior Elongation	Elongation	Obesity
GP/1T2143	R	53	31	30*	21	0.39	1.71	1.03*
GP/1T2141	R	59	34.5	28*	23	0.39	1.70	1.23*
GP/1T2154	R/L	52	29.5	25*	22	0.42	1.76	1.18*
GP/1T2144	R	57	29	26	20	0.35	1.96	1.16
GP/1T2138	R	55	30	-	22.5	0.40	1.83	-
GP/1T2149	R	54	29	24*	21	0.39	1.86	1.21*
GP/1T2132	R/L	49.5	26	24	20	0.40	1.90	1.08
GP/1T2146	L	49	27	23*	18	0.37	1.81	1.17*
GP/1T2151	L	41	22.5	24*	17	0.41	1.82	0.94*
GP/1T2145	R	30	18	-	12	0.40	1.67	-

Table 3. Dimensions in mm of representative specimens of *Neilo* (*Neilo*) *rongelii* sp. nov.

differs from *N. rongelii* sp. nov. in having a greater number of costae (2.4 per mm) and a smaller number of teeth. Other taxa similar to ours occur in the Cenozoic of New Zealand. *Neilo awamoana awamoana* Finlay, 1926 (upper early Miocene) and *N. awamoana sinangula* Finlay, 1926 (late Oligocene, Marshall 1978, figs 2A-D) can be distinguished from *N. rongelii* sp. nov. by their greater size, thicker external sculpture, thicker hinge and well pronounced umbones of the latter. Specimens of *Neilo awamoana* Finlay identified by Beu & Maxwell (1990) from the early Miocene Mount Harris Formation, New Zealand, are distinguished from the Antarctic species by their smaller size (length 25-35 mm), less prominent umbones, narrow lunule, greater density of sculpture (2.2 per mm centrally; *N. rongelii* sp. nov. from Cape Melville has 1.3 per mm centrally), greater number of teeth in the anterior series (18-24), and the elongate shape of the anterior adductor muscle scar. Finally, several characters of *Neilo sublaevis* Marwick, 1926, from middle to late Miocene rocks of New Zealand, such as the general shape, size (length 25-57 mm), the slightly down-curved posterior dorsal margin, the posterior end longer than anterior, and the anterior elongation (0.3-0.4) closely resemble those of *N. rongelii* sp. nov. However, the species from New Zealand differs in having more pointed umbones, a greater number of teeth (30 anterior and 22 posterior) and smaller adductor muscle scars. Specimens of *N. sublaevis* shown by Beu & Maxwell (1990) lack illustration of the inner surface of the shell, preventing a more accurate comparison of its

adductor scars with those of *N. rongelii* sp. nov.

SAREPTIDAE A. Adams, 1860

YOULDIINAE Habe, 1977

Yoldia Möller, 1842

Type species. Yoldia hyperborea Torell, 1859.

Discussion. *Yoldia* was characterized in Puri (1969, N239) by its elongate-ovate shape, thin shell, gaping in most specimens; hinge series subequal; resilium pit large, and pallial sinus deep and wide. Other elements added by Allen & Hannah (1986) include the fragile shell, compressed, elongate, tapering posteriorly, gaping slightly anteriorly and posteriorly, smooth or with fine sculpture; the poorly to moderately defined rostrum; the postero-dorsal margin straight or slightly convex (except that the posterior end may be somewhat upturned) with dorsal keel; the hinge plate slender, the chondrophore prominent; the ligament largely internal, with a small external part extended by the fused periostracum; and the siphons long, with a deep pallial sinus.

Yoldia peninsularis sp. nov. (Figs 7A-O, Table 4)

Material. Holotype, articulated with almost complete RV GP/1T 2161. Paratypes, articulated internal molds GP/1T 2162, GP/1T 2173; almost complete articulated internal molds GP/1T 2163, GP/1T 2164; internal molds of RV GP/1T 2167, GP/1T 2169, GP/1T 2176. Section D, Cape Melville Formation, Melville Peninsula, King George Island.

Age. Early Miocene.

Etymology. From Latin *peninsularis* = peninsular, referring to the site of the species.

Diagnosis. *Yoldia* of medium size, with thin shell; external ornament of very fine commarginal growth lines and commarginal rugae; antero-dorsal margin varying from straight to slightly convex; posterior row of teeth with nearly double the number of teeth of the anterior row.

Description. Shell thin, ovate, slightly inequilateral, equivalve; very elongate, very compressed; anterior region extended. Umbones depressed, rising slightly above hinge line; beaks slightly opisthogyrous. Lunule absent; escutcheon narrow and elongated. External ornament of very fine commarginal growth lines and commarginal rugae. Anterior and posterior ridges extending from umbonal region respectively to front and rear of shell. Antero-dorsal margin varying from straight to slightly convex; anterior margin large, semi-circular; ventral margin faintly convex; posterior dorsal margin large, slightly convex; postero-dorsal margin oblique, straight; a very faint respiratory embayment is present at superior end of posterior margin. Adductor muscle scars well marked, anisomyarian. Anterior adductor scar large, drop-like in shape, close to antero-dorsal angle. Posterior adductor scar roughly subcircular, nearly half the size of anterior adductor, close to postero-dorsal angle of shell. Pallial line faintly marked, narrow, with deep pallial sinus. A large and conspicuous “Y” shape scar is present at mid-length of shell, bifurcating immediately above mid-height of shell; the anterior arm is shorter; the posterior extends to the dorsal portion of the umbonal region. The origin of the ventral tip of the “Y” scar is not clear. GP/IT 2162 shows a possible origin at the ventral margin of the anterior adductor. In the GP/IT 2163 the origin of the “Y” scar is contiguous with a row of pointed scars that reaches the anterior adductor, but its relationship is uncertain. In some specimens (GP/IT 2162,

GP/IT 2163) rows of pointed scars are present posterior to the ventral portion of the anterior adductor scar; they are probably mantle muscles insertion scars. Taxodont dentition visible; GP/IT 2167 shows that the maximum number for the anterior region was 11 and 21 for the posterior. Chondrophore triangular in shape, shallow, wide.

Comparison. *Yoldia peninsularis* sp. nov. shares some similarities with *Yoldia* (*Yoldia*) *nitida* from Arenas de Huelva Formation (Pliocene, Spain) identified by Andrés (1989). These include the oval-triangular shape, the external ornament, the posterior branch of hinge being longer than anterior, the parallel and angled teeth, the anisomyarian adductor muscles scars, and the anterior outline subquadrate and larger than the oval posterior one. Differences include the thick shell; the presence of a lunule bounded by a well defined carina, and the upward inclination of the pallial sinus in the Spanish species. *Yoldia peninsularis* sp. nov. is also comparable to the extant endemic Antarctic species *Yoldia eightsi* (Dell 1964, Narchi *et al.* 2002). This bivalve, of circum-Antarctic distribution, has not yet been found in the fossil record, but it approaches the new species in size and general shape (except in the concavity of the postero-dorsal margin), the descendant pallial sinus and the reduced number of teeth. The material from Cape Melville is similar in general shape to *Yoldia* (*Aequiyoldia*) sp. from the late Oligocene Victoria Land Basin, Antarctica, identified by Taviani *et al.* (2000) but internal features as hinge plate and muscle scars were not described or illustrated for comparison, even though the authors mentioned the existence of material exhibiting hinge features. The living *Yoldia riograndensis* Esteves, 1984 from the Brazilian continental shelf is smaller and has a more pointed posterior end than *Yoldia peninsularis* sp. nov.

PTERIOMORPHIA Beurlen, 1944
ARCOIDA Stoliczka, 1871
LIMOPSOIDEA Dall, 1895
LIMOPSIDAE Dall, 1895

Limopsis Sassi, 1827

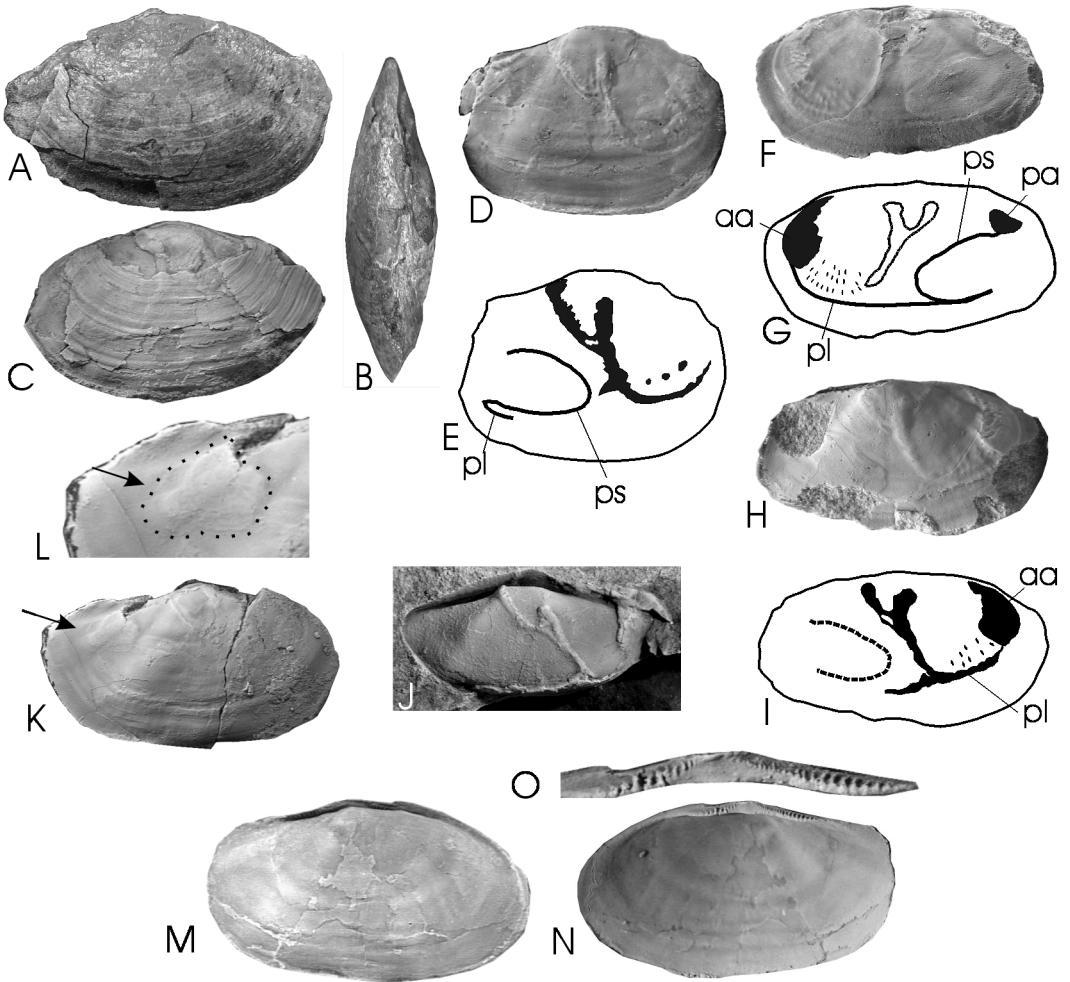


Fig. 7A-O. *Yoldia peninsularis* sp. nov. A-B, holotype GP/IT 2161, articulated valves; A, right view; B, dorsal view. C, paratype GP/IT 2173, fragmented articulated valves, right view. D-E, paratype GP/IT 2162, fragmented internal mold of articulated valves; D, right view; E, drawing of muscle scars. F-I, paratype GP/IT 2163, internal mold of articulated valves; F, left view; G, drawing of muscle scars; H, right view; I, drawing of muscle scars. J, paratype GP/IT 2169, internal mold of right valve. K-L, paratype GP/IT 2164; K, internal mold of articulated valves, right view, showing posterior adductor scar (arrow); L, magnified posterior adductor muscle scar (arrow), same specimen, x2. M-O, paratype GP/IT 2176; M, internal mold of right valve, x2; N, latex cast, internal view of right valve, same specimen; O, magnified hinge showing posterior and anterior row of teeth and triangular resilifer, same specimen, x2.5. All x1, except L, M, O.

Specimen	Valves	Length	Height	Width	Anterior	Anterior Elongation	Elongation	Obesity
GP/IT2161	R	29.5	17.5	8	16	0.54	1.68	2.18
GP/IT2164	R/L	27.0	15	7	12.5	0.46	1.8	2.14
GP/IT2173	L	26.5	15	7	14	0.53	1.77	2.14
GP/IT2163	R/L	25.5	14	6.5	14	0.55	1.82	2.15
GP/IT2167	R	23.0	12.5	6	13.5	0.59	1.84	2.08

Table 4. Dimensions in mm of representative specimens of *Yoldia peninsularis* sp. nov.

Type species. *Arca aurita* Brocchi, 1814; Pliocene, Italy; living, Atlantic.

Discussion. Dell (1964) indicated the presence of a thickened, oblique ridge in the internal posterior side of the valves as a very common character of members of thick-shelled limopsids, a character also present in our specimens. Newell (1969) indicated as diagnostic features of *Limopsis* the nearly equilateral shell and orbicular shape, commonly with slight forward obliquity. Tevesz (1977) noted the striking similarities between limopsids and glycymeridids, particularly with regard to dentition and shell shapes. Tevesz (1977) pointed out that the main difference between the groups is that the dorsal area of limopsids is marked by a pit and in glycymeridids by chevron grooves. Unfortunately, this character is not visible in the specimens from the Cape Melville Formation. Tevesz (1977), however, also pointed out that isomyarian adductor scars are common for most glycymeridids, in contrast to the strongly anisomyarian condition of our specimens. These also do not exhibit the fluted inner ventral margins that Newell (1969) considered diagnostic of *Glycymeris* da Costa, 1778. On the basis of these elements we included the specimens from Cape Melville to belong in *Limopsis*.

***Limopsis psimolis* sp. nov.** (Figs 8A-J, Table 5)

Material. Holotype, articulated with almost complete valves and internal mold GP/1T 2175. Paratypes, articulated with almost complete valves GP/1T 2176, GP/1T 2177, GP/1T 2178, GP/1T 2179. Section C, Cape Melville Formation, Moby Dick Group, Melville Peninsula, King George Island, Antarctica.

Age. Early Miocene.

Etymology. *Psimolis*, an anagram of *Limopsis*.

Diagnosis. *Limopsis* with large shell, thick, orbicular; external ornament of irregularly spaced commarginal growth increments; adductor muscle scar strongly anisomyarian.

Description. Shell large, slightly inequilateral

obliquely ovate, elongate posteriorly, equivalve; moderately elongate, very compressed. Anterior, ventral and posterior margins strongly compressed outward posterior adductor and pallial line, often forming a wide flange in internal molds; flange widens slightly above postero-ventral angle of shell, close to posterior adductor scar. Umbones depressed; beaks not observed. Lunule and escutcheon absent. External ornament of irregularly spaced commarginal growth increments; surface of increments covered with well-marked, equally spaced radial ribs present over the whole surface of the shell, three per mm near ventral margin. Anterior dorsal margin very short, straight; anterior and ventral margins convex; posterior dorsal margin truncated, straight or slightly convex; posterior dorsal margin straight, slightly longer than the anterior. Adductor muscle scars anisomyarian; the anterior reduced, oval, strongly marked, reflecting an oblique insertion of the musculature in the shell, positioned at the flange, close to the posterior dorsal angle. A well-marked buttress runs posteriorly to the anterior adductor. Posterior adductor scar large, subcircular, well-marked, positioned at mid-length of posterior margin. Anterior pedal retractor small, elongate, well-marked, not fused to the adductor, positioned on the flange, slightly posterior to and above the adductor. Posterior pedal retractor larger than the anterior, subcircular, well marked, not fused to the adductor, positioned slightly anterior to and above the adductor. Pallial line integripalliate. A fluted area, three millimeters high, covers the entire length above the pallial line. Hinge line faintly curved, with coarsened ventral margin. Taxodont dentition is not completely visible; maximum tooth number estimated for the anterior region is 12 and for the posterior 7.

Comparison. Marwick (1931) described *L. retifera*, *L. cooki* and *Limopsis* sp. from the Cenozoic of New Zealand. *Limopsis retifera* is distinguished from Antarctic species by its smaller size, shape, well-marked reticulated pattern of external ornament, obesity index, and shape and relative size of the adductor scars. *Limopsis cooki* is similar in general shape, external ornamentation, shape and size of adductor muscle scars, but is only a third of the

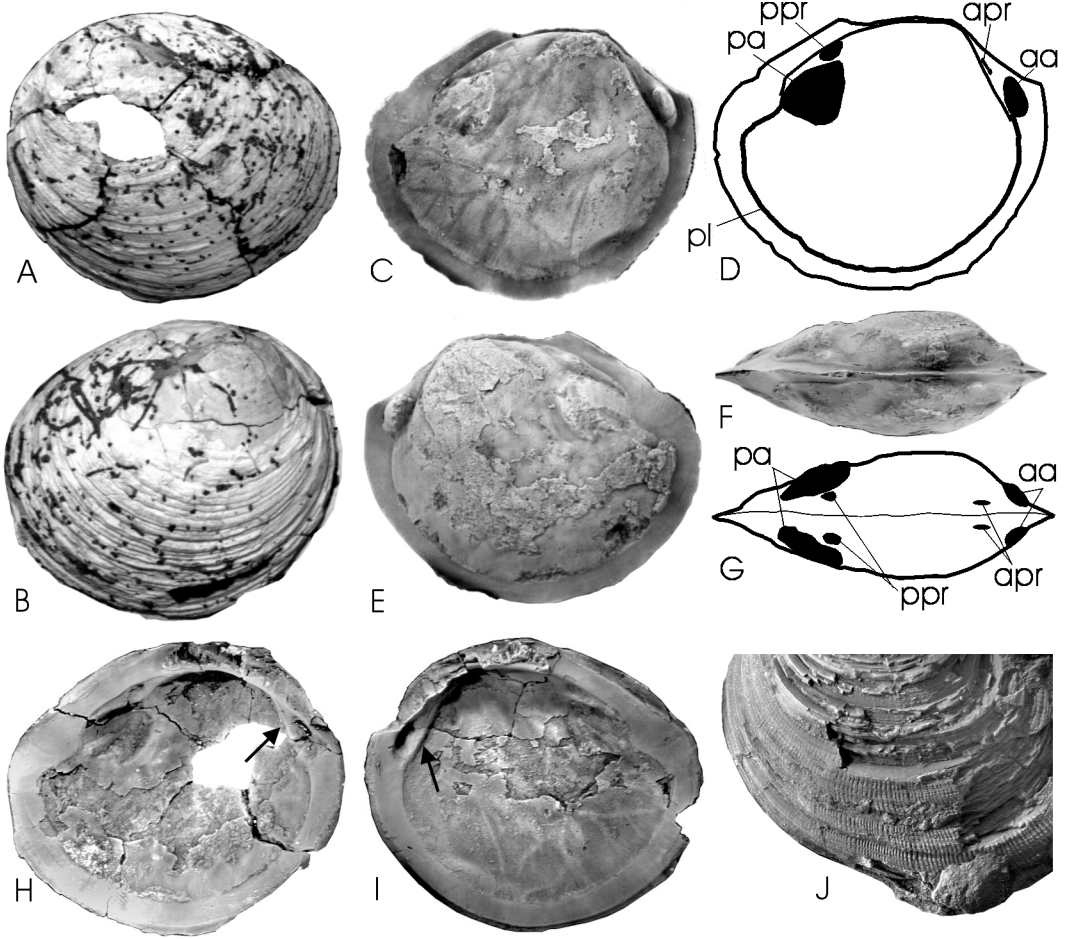


Fig. 8A-J. *Limopsis psimolis* sp. nov. A-I, holotype GP/IT 2175, articulated valves and internal mold. A, left valve; B, right valve. C, internal mold, right view; D, drawing of muscle scars, right view. E, internal mold, left view. F, internal mold, dorsal view; G, drawing of muscle scars, dorsal view. H, left valve, internal view; arrow, buttress. I, right valve, internal view; arrow, buttress. J, paratype GP/IT 2179, articulated valve, left view showing pattern of radial external ornament. All x1.

Specimen	Valves	Length	Height	Width	Anterior	Anterior Elongation	Elongation	Obesity
GP/IT2175	R/L	45	38	20	11	0.24	1.18	1.90
GP/IT2179	R/L	39	31	15	11	0.28	1.26	2.10
GP/IT2176	R/L	39	30	14	8	0.20	1.30	2.14
GP/IT2177	R/L	37	30	12	8	0.22	1.23	2.50
GP/IT2178	R/L	35	27	11.5	8	0.23	1.29	2.34

Table 5. Dimensions in mm of representative specimens of *Limopsis psimolis* sp. nov.

size of *L. psimolis* sp. nov., moderately inflated, and has the dorsal margin of shell straight. *Limopsis* cf. *cumingi* from the Pliocene Sannohe Group, Japan (Chinzei 1960) is similar to *L. psimolis* sp. nov. in the general shape and pattern

of its external ornament, but differs in its smaller size and in the presence of a deeply folded postero-dorsal margin. Our material also resembles *L. waihaoensis* Allan, 1926 from the middle Eocene Waihao Greensand and late

Eocene Kaiata formations, New Zealand (Beu & Maxwell 1990) in general shape, the relative sizes of the adductors and the shape of the pallial line. However, the New Zealand species differs from the Antarctic one in its smaller size (height 7-11mm), its thinner shell and its feeble external sculpture. Other species similar to *L. psimolis* sp. nov are *L. zealandica* Hutton, 1873, and *L. catenata* Suter, 1917, from the early Miocene Mount Harris Formation, New Zealand (Beu & Maxwell 1990). *Limopsis zealandica* resembles *L. psimolis* sp. nov. in general shape, external ornamentation and the size of the adductor muscle scars but differs in its smaller size (height 20-28mm). *Limopsis catenata* Suter, 1917 is very similar from *Limopsis psimolis* sp. nov in size (height 30-40mm), in external ornamentation, in the size and shape of the adductor muscle scars, the widened flange at the posterior-ventral end of the posterior adductor scar, and myophoric ridge at the anterior adductor, here termed as buttress. However, *L. catenata* is more trigonal while *L. psimolis* sp. nov. is obliquely ovate. Because the hinge and areas above it are not preserved, the characters of these regions are not comparable.

HETEROCONCHIA Hertwig, 1895

HETERODONTA Neumayr, 1883

MYOIDA Stoliczka, 1870

MYINA Stoliczka, 1870

HIATELLOIDEA Gray, 1824 (1842)

HIATELLIDAE Gray, 1824 (1842)

Panopea Menard, 1807

Type species. *Mya glycimoris* Born, 1778, Recent, Europe (by subsequent designation of Schmidt 1818).

Discussion. Keen (1969, N700) characterized *Panopea* as a shell of medium or to large size, elongate, with gaping, subcentral beaks; ligamental nymph large, high; pallial sinus wide. Del Rio (1994) added the following elements: shell of medium to large size, transversely elongate, anterior end rounded and posterior end truncate, anterior and posterior gaping (more so posteriorly); beaks subcentrally placed; nymphs long and high; pallial sinus well developed and

sculpture consisting of rather coarse commarginal undulations.

Panopea (*Panopea*) sp. cf. ***P. regularis*** (Ortmann, 1902) (Figs 9A-B, Table 6)

Age. Early Miocene.

Material examined. Fragmented articulated valves GP/1T 2181, GP/1T 2182, GP/1T 2184; anterior part preserved and posterior mold of left valve, GP/1T 2180; almost complete right valve, GP/1T 2183. Sections B and C, Cape Melville Formation, Melville Peninsula, King George Island, Antarctica.

Description. Shell thick, subretangular, inequilateral, equivalve; very elongate; inflated. Umbonal region slightly elevated above hinge line. External ornament of irregular spaced commarginal folds, better developed on umbonal region of shell than elsewhere. Antero-dorsal margin slightly convex; anterior margin rounded; ventral margin elongated, faintly convex; posterior margin not preserved. Pallial line well marked, deeply sinuate. Other muscle scars and hinge features not observed.

Comparison. Specimens available are incomplete and cannot be properly compared with other taxa. Though larger, they have been provisionally assigned to *P. (P.)* sp. cf. *(P.) regularis* (Ortmann, 1902) from the middle Miocene Puerto Mandryn Formation (Del Rio 1994) in view of similarities in the shell thickness, the proportion of antero-dorsal and postero-dorsal margins, the shape of the anterior margin and the obesity index. Other species of *Panopea* described from Antarctica, include *P. clausa* Wilckens, 1910 (redescribed by Zinsmeister & Macellari [1988] from Cretaceous rocks of Seymour Island), and *Panopea (Panopea) andreae* erected by Studenka (1991) from the early Miocene Destruction Bay Formation, Melville Peninsula. The former has a shorter anterior margin and more pointed beaks than *P. (P.)* sp. *(P.) regularis* and the latter is less elongate and half the size of the present specimens. The Cape Melville taxon resembles also *Panopea wanganuica* Powell,

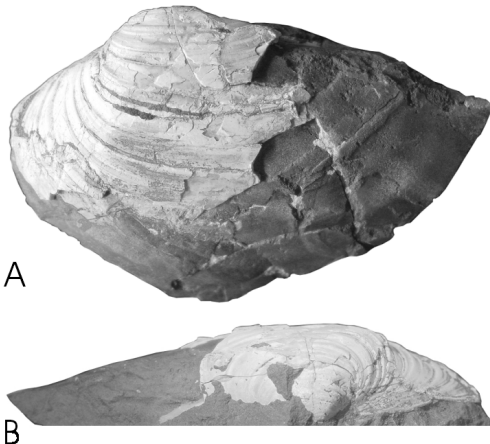


Fig. 9A-B. *Panopea (Panopea)* cf. *P. regularis*. A-B, holotype GP/1T 2180; A, fragmentary left valve; B, dorsal view; x1.

1950, reported by Beu & Maxwell (1990) from the Kupe Formation (late Pliocene, New Zealand) in terms of general shape, ornamentation and pallial line pattern. The species from New Zealand is, however, larger (length 90–110 mm) and has more depressed umbones. *Panopea* n. sp.? cf. *P. philippi* Zinsmeister, 1984 identified by Stilwell (2000) from Eocene rocks of McMurdo Sound is a more elongate species.

ANOMALODESMATA Dall, 1889 (1899)

PHOLADOMYOIDA Newell, 1965

PANDOROIDEA Rafinesque, 1815

PERIPLOMATIDAE DALL, 1895

Periploma Schumacher, 1817

Type species. *Periploma inaequivalvis* (= *Corbula margaritacea* Lamarck, 1801).

Discussion. Diagnostic characters of the genus include right valve more convex than left and overlapping it, surface granular, beaks opisthogyrate; chondrophores supported by

clavicle in most forms (Keen 1969b). Except for the chondrophore all characters are visible in the shells from Cape Melville. *Periploma* is similar to *Thracia* Sowerby, 1823 (see Marshall 2002) but may be separated by its nearly circular outline and more strongly curved ventral margin.

Periploma acuta sp. nov. (Figs 10A-F, Table 7)

Material. Holotype, complete articulated shell, GP/1T 2159. Paratypes, internal mold of articulated valves GP/1T 2156–2157; GP/1T 2158. Section B, Cape Melville Formation, Moby Dick Group, Melville Peninsula, King George Island, Antarctica.

Age. Early Miocene.

Etymology. From Latin *acuta* = acute, referring to the posterior region of the shell.

Diagnosis. Small *Periploma*, very compressed, with angle between anterior and posterior dorsal margin around 125°; posterior region of shell acute; anterior end of pallial sinus acuminate; blunt rounded nymph.

Description. Shell varying in size from 18–22 mm; thin and fragile, nacreous internally; inequivalve, with right valve slightly more inflated than the left; equilateral, subcircular; elongation equate to moderately elongate; very compressed. Umbones depressed, slightly elevated above hinge line; beaks opisthogyrous. A posterior umbonal slope runs from beaks to postero-ventral angle. Lunule and escutcheon absent. External ornament of fine commarginal growth lines. Anterior and posterior dorsal margins straight, forming an angle of around 125°. Anterior and ventral margins of shell rounded and continuous; posterior region of shell

Specimen	Valves	Length	Height	Width	Anterior	Anterior Elongation	Elongation	Obesity
GP/1T2184	R/L	81	43	32	18	0.22	1.88	1.34
GP/1T2180	L	80*	51	17	24	0.30	1.57	1.50*
GP/1T2181	R/L	-	46	38	-	-	-	1.21
GP/1T2183	R	55	27	-	25	0.45	2.03	-

Table 6. Dimensions in mm of representative specimens of *Panopea (Panopea)* sp. cf. *P. regularis*.

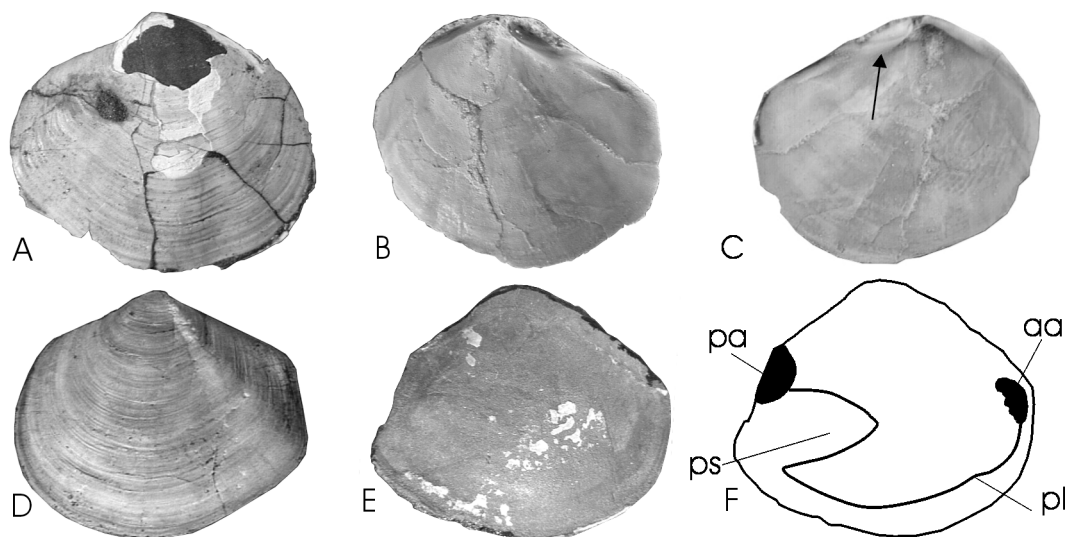


Fig. 10A-F. *Periploma acuta* sp. nov. A, holotype GP/IT 2159, articulated valves. B-C, paratype GP/IT 2157, internal mold; B, left view; C, latex cast of internal left side showing the blunt rounded nymph (arrow). D-F, paratype GP/IT 2156, left valve preserved with internal mold; D, left valve view; E, right view. F, drawing of muscle scars. All specimens x2.

Specimen	Valves	Length	Height	Width	Anterior	Anterior Elongation	Elongation	Obesity
GP/IT 2158	R/L	22	15	3.5	6.0	0.27	1.46	4.28
GP/IT 2157	R/L	21	17	4.0	6.0	0.28	1.23	4.25
GP/IT 2159	R/L	19	16	4.0	10.0	0.55	1.12	4.00
GP/IT 2156	R/L	19	18	5.0	10.0	0.52	1.05	3.5

Table 7. Dimensions in mm of representative specimens of *Periploma acuta* sp. nov.

acuminate, posterior margin truncate. Musculature shallowly impressed, not completely observable; anterior adductor scar smaller than posterior, elliptical, with posterior margin irregular; posterior adductor nearly circular. Pallial line strongly sinupalliate, with acuminate anterior end. Hinge edentulous, with a blunt rounded nymph posterior to umbones.

Comparison. *Periploma acuta* sp. nov. from Cape Melville differs from *Periploma topei* from the Eocene La Meseta Formation (Zinsmeister 1984) in its small size, its nearly circular outline and more anterior position of umbones. *Periploma acuta* sp. nov. differs from *Periploma* n. sp.? cf. *Periploma topei* Zinsmeister, 1984 identified by Stilwell (2000) from Eocene rocks of McMurdo Sound, in its smaller elongation and its nearly circular outline.

Acknowledgments

This paper is a contribution of Project PROANTAR-CNPq, 550352/02-3. We are grateful to A.G. Beu whose critical remarks and abundant comments helped to improve greatly the manuscript, and J.D. Stilwell for very helpful suggestions for improvement of the manuscript.

References

- ALLEN, J.A. & HANNAH, F.J., 1986. A reclassification of the recent genera of the subclass Protobranchia (Mollusca: Bivalvia). *Journal of Conchology* 32, 225-249.
- AGUIRRE, M.L. & FARINATI, E.A., 2000. Moluscos del Cuaternario Marino de la Argentina. *Boletín Academia Nacional Ciencias Córdoba* 64, 235-233.
- AMLER, M.R.W., 1999. Synoptical classification of fossil and Recent Bivalvia. *Geologica et Palaeontologica* 33, 237-248.
- ANELLI, L.E., SANTOS, P.R. DOS, ROCHA-CAMPOS, A.C., PERINOTTO, J.A. DE J. & TOMIO, A., 2003a. Taphonomy of a nuculid bivalve concentration from the Cape Melville formation (early Cenozoic), King George Island, Antarctica. *XI Seminário Sobre Pesquisa Antártica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Boletim de Resumos*, p. 35

- ANELLI, L.E., SANTOS, P.R. DOS, ROCHA-CAMPOS, A.C., PERINOTTO, J.A. DE J. & TOMIO, A., 2003b. Bivalves from the Cape Melville formation, Moby Dick group (early Cenozoic), King George Island, Antarctica. *XI Seminário Sobre Pesquisa Antártica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Boletim de Resumos*, p. 27.
- ANDRÉS, I., 1989. Estudio sistemático de los bivalves Paleotaxodonta y Pteriomorpha (Arcoïda, Mytiloïda) del Plioceno de Bonares (Huelva, España). *Studia Geologica Salmanticensia* 26, 317-353.
- BEU, A.G. & MAXWELL, P.A., 1990. Cenozoic Mollusca of New Zealand. *New Zealand Geological Survey, Palaeontological Bulletin* 5, 518 pp.
- BIERNAT, G., BIRKENMAJER, K. & POPIEL-BARCZYK, E., 1985. Cenozoic brachiopods from the Moby Dick Group of King George Island (South Shetland Island, Antarctica). *Studia Geologica Polonica* 81, 109-141.
- BIRKENMAJER, K., 1982. Pre-Quaternary fossiliferous glaciomarine deposits at Cape Melville, King George Island, (South Shetlands Island, West Antarctica). *Académie Polonaise des Sciences, Bulletin, Série Science de La Terre* 29(4), 331-340.
- BIRKENMAJER, K., 1984. Geology of Cape Melville area, King George Island (South Shetlands Island, Antarctica): pre-Pliocene glaciomarine deposits and their substratum. *Studia Geologica Polonica* 79, 7-36.
- BIRKENMAJER, K., 2001. Mesozoic and Cenozoic stratigraphic units in parts of the South Shetland Islands and Northern Antarctic Peninsula (as used by the Polish Antarctic programmes). *Studia Geologica Polonica* 118, 188 pp.
- BIRKENMAJER, K., GAZDZICKI, A., PUGACZEWSKA, H. & WRONA, R., 1987a. Recycled Cretaceous belemnites in Lower Miocene glaciomarine sediments (Cape Melville Formation) of King George Island, West Antarctica. *Palaeontologia Polonica* 49, 49-62.
- BIRKENMAJER, K., GAZDZICKI, A. & WRONA, R., 1987b. Cretaceous and Cenozoic fossils in glaciomarine strata at Cape Melville, Antarctica. *Nature* 33(5912), 56-59.
- BIRKENMAJER, K. & LUCZKOWSKA, E., 1987. Foraminiferal evidence for a Lower Miocene age of glaciomarine and related strata, Moby Dick Group, King George Island (South Shetlands Island, Antarctica). *Studia Geologica Polonica* 90, 81-123.
- BIRKENMAJER, K. & ZASTAWIAK, E., 1986. Plant remains of the Dufayel Island Group (Early Cenozoic?), King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). *Acta Paleobotanica* 26 (1, 2), 33-54.
- BITNER, M.A. & CRAME, J.A., 2002. Brachiopods from the Lower Miocene of King George Island, West Antarctica. *Polish Polar Research* 23(1), 75-84.
- BRADSHAW, M.A., 1999. Lower Devonian bivalves from the Reefton Group, New Zealand. *Memoir of the Association of Australasian Palaeontologists* 20, 171 pp.
- CARTER, J.G., 1990. Evolutionary significance of shell microstructure in the Palaeotaxodonta, Pteriomorpha and Isofilibranchia. In *Skeletal Biomineralization, Patterns, Processes and Evolutionary Trends*, CARTER, J.G. ed., Van Nostrand Reinhold & Co., New York, 135-412.
- CHINZEI, K., 1960. Molluscan fauna of the Pliocene Sannaohé Group of Northeast Honshu, Japan. *Journal of the Faculty of Sciences, University of Tokyo* 13(2), 81-131.
- COVACEVICH, V., 1976. Fauna Valanginiána de Peninsula Byers, Isla Livingston, Antarctica. *Revista Geologica del Chile* 3, 25-56.
- COX, L.R., 1940. The Jurassic Lamellibranchiata fauna of Kachh (Cutch). *Palaeontologia Indica* 9, (part 3 no. 3), 1-157.
- CRAME, J.A., 1999. An evolutionary perspective on marine faunal connections between southernmost South America and Antarctica. *Scientia Marina* 63, 1-14.
- DELL, R.K., 1964. Antarctic and subantarctic Mollusca: Amphineura, Scaphopoda and Bivalvia. *Discovery Report* 33, 93-250.
- DEL-RIO, C.J., 1992. Middle Miocene Bivalves of The Puerto Madryn Formation, Valdes Peninsula, Chubut Province, Argentina (Nuculidae-Pectinidae), Part I. *Palaeontographica A* 225, 1-58.
- DEL-RIO, C.J., 1994. Middle Miocene Bivalves of the Puerto Madryn Formation, Valdes Peninsula, Chubut Province, Argentina (Lucinidae-Pholadidae), Part II. *Palaeontographica A* 231, 93-132.
- DUDZIAK, J., 1984. Cretaceous calcareous nannoplankton from glaciomarine deposits of the Cape Melville area, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica* 79, 37-51.
- ELIAS, M.K., 1957. Hollow Formation of Southern Oklahoma. Part 3. Pelecypoda. *Journal of Paleontology* 31, 737-784.
- ERDMANN, S. & MORRA, G., 1985. Nuevos moluscos de la Formación San Julian, Provincia de Santa Cruz. *Ameghiniana* 22, 289-295.
- ESTEVES, I.R.F., 1984. Recent bivalves (Palaeotaxodonta and Pteriomorpha) from the Brazilian continental shelf. *Pesquisas do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro* 16, 190-226.
- FARINATI, E.A., 1978. Microfauna de moluscos queradineses (Holoceno), Ingeniero White, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geologica Argentina* 33, 211-231.
- FELDMANN, R.A. & CRAME, J.A., 1998. The significance of a new nephropid lobster from the Miocene of Antarctica. *Palaeontology* 41, 807-814.
- FELDMANN, R. M. & GAZDZICKI, A., 1997. A new species of *Glyphea* (Decapoda: Palinura) from the La Meseta Formation (Eocene) of Seymour Island, Antarctica. *Acta Palaeontologica Polonica* 42, 437-445.
- FELDMANN, R. M. & GAZDZICKI, A., 1998. Cuticular ultrastructure of fossil and living homolodromiid crabs (Decapoda: Brachyura). *Acta Palaeontologica Polonica* 43, 1-19.
- FINLAY, H.J., New shells from the New Zealand Tertiary beds: part 2. *Transactions of the New Zealand Institute* 56, 227-258.
- FISCHER, P.H., 1880-1887. *Manuel de conchyliologie et de paléontologie conchyliologique: XXV*. F. Savy. Paris. 1369 pp.
- FÖSTER, R., GAZDZICKI, A. & WRONA, R., 1987. Homolodromiid crabs from the Cape Melville Formation (Lower Miocene) of King George Island, West Antarctica. *Palaeontologia Polonica* 49, 147-161.
- IHERING, H. von, 1907. Les Mollusques fossiles du Tertiaire et du Crétacé Supérieur de L'Argentine. *Annales del Museo Nacional de Buenos Aires* 3, 14(7), 1-611.
- JESIONECK-SZYMANSKA, W., 1987. Echinoids from the Cape Melville Formation (Lower Miocene) of King George Island, West Antarctica. *Palaeontologia Polonica* 49, 163-168.
- KARCZEWSKI, L., 1987. Gastropods from the Cape Melville

- Formation (Lower Miocene) of King George Island, West Antarctica. In *Palaeontological Results of the Polish Antartic Expeditions*, Part I. A. GAZDZICKI ed., *Palaeontologia Polonica* 49, 127-146.
- KEEN, M., 1969a. Superfamily Hiatellacea. In *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part N. Bivalvia*, R.C. MOORE ed., University of Kansas Press, Lawrence, N700-702.
- KEEN, M., 1969b. Superfamily Periplomatidae. In *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part N. Bivalvia*, R.C. MOORE ed., University of Kansas Press, Lawrence, N849-850.
- KILBURN, R.N., 1999. The Family Nuculidae (Bivalvia: Protobranchia) in South Africa and Mozambique. *Annals of the Natal Museum* 40, 245-268.
- MCALISTER, A.L., 1969. Superfamily Nuculanacea. In *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part N. Bivalvia*, R.C. MOORE ed., University of Kansas Press, Lawrence, N231-235.
- MALUMIAN, N., CAMACHO, H.H. & GORROÑO, R., 1978. Moluscos del Terciario Inferior de la Isla Grande de Tierra del Fuego, República Argentina. *Ameghiniana* 15, 161-171.
- MARSHALL, B.A., 1978. The genus *Neilo* in New Zealand (Mollusca: Bivalvia). *New Zealand Journal of Zoology* 5, 425-436.
- MARSHALL, B.A., 2002. Some Recent Thracidae, Periplomatidae, Myochamidae, Cuspidariidae and Spheniopsidae (Anomalodesmata) from the New Zealand region and referral of *Thracia reinga* Crozier, 1966 and *Scintillona benthicola* Dell, 1956 to *Tellimya* Brown, 1827 (Montacutidae) (Mollusca: Bivalvia). *Molluscan Research* 22, 221-288.
- MARWICK, J., 1931. The Cenozoic Mollusca of the Gisborne District. *New Zealand Geological Survey Palaeontological Bulletin* 13, 177 pp.
- MAXWELL, P.A., 1988. Comments on "A reclassification of the recent genera of the Subclass Protobranchia (Mollusca: Bivalvia)" by J.A. Allen & F.J. Hannah (1986). *Journal of Conchology* 33, 85-96.
- MELLO, M.V. & BARRIA, J.S., 1998. Protobranchia (Mollusca: Bivalvia) chilenos recientes y algunos fósiles. *Malacologia* 40, 113-229.
- NARCHI, W., DOMANESCHI, O. & PASSOS, F.D., 2002. Bivalves antárticos e subantárticos coletados durante as Expedições Científicas Brasileiras à Antártica I a IX (1982-1991). *Revista Brasileira de Zoologia* 19(3), 645-675.
- NEWELL, N.D., 1969. Family Glycimeridae. In *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part N. Bivalvia*, R.C. MOORE ed., University of Kansas Press, Lawrence, N267-269.
- OLIVER, P.G., 1981. The Functional Morphology and Evolution of Recent Limopsidae (Bivalvia: Arcoida). *Malacologia* 21, 61-93.
- ORTMANN, A.E., 1902. Tertiary invertebrates. *Reports of the Princeton Expedition to Patagonia, 1896-1899*, 4, 45-332.
- PERINOTTO, J.A. DE J., SANTOS, P.R. DOS, ROCHA-CAMPOS, A.C., 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, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Boletim de Resumos*, 2.
- PURI, H.S., 1969. Family Nuculanidae. In *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part N. Bivalvia*, R.C. MOORE ed., University of Kansas Press, Lawrence, N235-241.
- RHIND, P.M. & ALLEN, J.A., 1992. Studies on the deep-sea Protobranchia (Bivalvia): the Family Nuculidae. *Bulletin of the British Museum of Natural History (Zoology)* 58, 61-93.
- RONIEWICZ, E. & MORYCOWA, E., 1987. Development and variability of Tertiary *Flabellum variceptatum* (Scleractinia), King George Island, West Antarctica. In *Palaeontological Results of the Polish Antartic Expeditions, Part I. A. GAZDZICKI ed.*, *Palaeontologia Polonica* 49, 83-103.
- SCHENCK, H.G., 1934. Classification of nuculid pelecypods. *Bulletin du Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique* 10, 1-78.
- STANLEY, S.M., 1972. Functional morphology and evolution of byssally attached bivalve mollusks. *Journal of Paleontology* 46, 165-212.
- STILWELL, J.D., 2000. Eocene Mollusca (Bivalvia, Gastropoda and Scaphopoda) from McMurdo Sound: systematics and paleoecologic significance. In *Paleobiology and Paleoenvironments of Eocene rocks, McMurdo Sound, East Antarctica*, J.D. STILWELL & R.M. FELDMANN eds, *Antarctic Research Series* 76, 261-320.
- STILWELL, J.D. & ZINSMEISTER, W., 2000. Paleobiogeographic synthesis of the Eocene macro-fauna from McMurdo Sound, Antarctica. In *Paleobiology and Paleoenvironments of Eocene rocks, McMurdo Sound, East Antarctica*, J.D. STILWELL & R.M. FELDMANN eds, *Antarctic Research Series* 76, 365-372.
- STUDENKA, B., 1991. A new species of genus *Panopea* (Bivalvia) from the King George Island, Antarctica. *Polish Polar Research* 12(3), 363-368.
- TEVESZ, M.J.S., 1977. Taxonomy and ecology of the Philobryidae and Limopsidae (Mollusca: Pelecypoda). *Postilla* 171, 64 pp.
- 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, Section B: Stratigraphy and Global Studies* 72(4), 510-523.
- VILLARROEL, M. & STUARDO, J., 1998. Protobranchia (Mollusca: Bivalvia) chilenos recientes y algunos fósiles. *Malacologia* 40, 113-229.
- ZINSMEISTER, W.J., 1982. Late Cretaceous-Early Tertiary molluscan biogeography of the southern circum-Pacific. *Journal of Paleontology* 56, 84-102.
- ZINSMEISTER, W.J., 1984. Late Eocene Bivalves (Mollusca) from the La Meseta Formation, collected during the 1974-1975 joint Argentine-American expedition to Seymour Island, Antarctic Peninsula. *Journal of Paleontology* 58, 1497-1527.
- ZINSMEISTER, W.J. & MACELLARI, C.E., 1988. Bivalvia (Mollusca) from the Seymour Island, Antarctic Peninsula. *Geological Society of America Memoir* 169, 253-284.

Anexo 5

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*.

**Invertebrates from the Low Head Member (Polonez Cove Formation, Oligocene)
at Vauréal Peak, King George Island, West Antarctica**

Fernanda Quaglio^{1,*}, Luiz E. Anelli¹, Paulo R. dos Santos¹, José A. de J. Perinotto² and
Antonio C. Rocha-Campos¹

¹Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago 562, 05508-080,
Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brazil

²Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Avenida 24-A,
1515,
13506-900, Rio Claro, SP, Brazil

*quaglio@usp.br

Abstract

Eight taxa of marine invertebrates, including two new bivalve species, are described from the Low Head Member of the Polonez Cove Formation (latest early Oligocene) cropping out in the Vauréal Peak area, King George Island, West Antarctica. The fossil assemblage includes representatives of Brachiopoda (genera *Neothyris* sp. and *Liothyrella* sp.), Bivalvia (*Adamussium auristriatum* sp. nov., ?*Adamussium* cf. *A. alanbeui* Jonkers, and *Limatula* (*Antarctolima*) *ferraziana* sp. nov.), Bryozoa, Polychaeta (serpulid tubes) and Echinodermata. Specimens occur in debris flows deposits of the Low Head Member, as part of a fan-delta setting in a high energy, shallow marine environment. *Liothyrella* sp., *Adamussium auristriatum* sp. nov. and *Limatula ferraziana* sp. nov. are among the oldest records for these genera in King George Island. All three taxa are ancestral to Recent Antarctic groups. In spite of their restrict number and diversification, bivalves and brachiopods from this study display an overall dispersal pattern that roughly fits in the clockwise circulation of marine currents around Antarctica accomplished in two steps. The first followed the opening of the Tasmanian Gateway at the Eocene/Oligocene boundary, along the eastern margin of Antarctica, and the second took place in post-Paleogene time, following the Drake Passage opening between Antarctic Peninsula and South America, along the western margin of Antarctica.

Key words: taxonomy, Paleogene, Oligocene, bivalves, brachiopods, Pectinidae, Bryozoa, Echinoidea, Polychaeta, West Antarctica

Introduction

The Polonez Cove Formation, cropping out at King George Island (KGI), West Antarctica (Fig. 1), preserves a diverse Cenozoic marine biota that has been subject of numerous papers dealing with coccoliths (Gazdzicka & Gazdzicki 1985), foraminifers, ostracods (Blaszyk 1987), brachiopods (Bitner & Pisera 1984, Bitner & Thomson 1999), polychaete worms, bryozoans, gastropods, bivalves (Gazdzicki & Pugaczewska 1984), scaphopods (Pugaczewska 1984), and echinoderms (Jesionek-Szymanska 1984). The Low Head Member of the Polonez Cove Formation is a richly fossiliferous unit (Bitner & Thomson 1999), and crops out at various sites along the eastern coast of KGI. Most of the stratigraphic and paleontological studies of the Polonez Cove Formation available in the literature refer to the type-section of the formation exposed from Lions Rump to Low Head along the southern coastal of KGI (Fig. 1). Although briefly described by Birkenmajer (1982), Porebski & Gradzinski (1987) and Troedson & Riding (2002), Cenozoic sediments cropping out at Vauréal Peak, on the northern margin of Admiralty Bay, had never been paleontologically studied or correlated with the Polonez Cove Formation, perhaps due to the limited exposure at this site.

The new taxonomic data here presented, allied to previous studies on fossil invertebrates from Antarctic regions, are essential for establishing the paleontological affinities of KGI fossils with other Cenozoic faunas from Antarctic peripheral southern continents. These data bear on the identification of migratory routes of marine faunas from northern warmer waters into Antarctica, and on the understanding of paleobiogeographical patterns established during the glacial history of West Antarctica at the time of its separation from South America at the end of Paleogene (e.g. Zinsmeister 1982, Crame 1999, Briggs 2003).

The present paper is a part of a series aiming to describe the marine invertebrate faunas from Cenozoic deposits of KGI (Anelli *et al.* 2006), evaluating their taxonomic affinities in order to recognize dispersal routes that shaped their composition, and interpreting their paleoenvironment in the context of their depositional history.

Geological setting, age and paleontology

Fossil invertebrates described herein were collected from outcrop assigned to the Low Head Member of the Polonez Cove Formation at Vauréal Peak, Admiralty Bay, KGI, West Antarctica (Fig. 1), in the austral summer of 2004, during the Operação Antártica XXII of the Brazilian Antarctic Program (PROANTAR). Other exposures of the Polonez Cove Formation occur on a cliff along the eastern coast of the island, between Lions Rump and Low Head, King George Bay (type-area of the unit, Birkenmajer 1982), at Three Sisters Point, as well as inland at Godwin Cliffs and Magda Nunatak (Porebski & Gradzinski 1987, Birkenmajer 2001, Troedson & Smellie 2002). (Fig. 1b.)

In its type-area, the Polonez Cove Formation is represented by a sequence of diamictites and fossiliferous basaltic conglomerates and sandstones. The main characteristic of the formation is the presence of conglomerate facies containing faceted and striated pebble- to boulder-sized clasts of local and continental Antarctic provenance, assigned to the Krakowiak Glacier Member (Birkenmajer 2001, 2003). A detailed description of the stratigraphy, facies and depositional environment of the Polonez Cove Formation appears in Porebski & Gradzinski (1987, 1990), Santos *et al.* (1990), and Troedson & Smellie (2002).

The Polonez Cove Formation sequence cropping out at Vauréal Peak starts with diamictite, up to 5 m thick, correlated to the Krakowiak Glacier Member, which passes upwards to

lenticular beds of matrix or clast-supported, massive gravel and grainy to pebbly sandstone, 6 m thick, of the Low Head Member (Fig. 2).

The Low Head Member facies described in this paper are correlatable to the LH3 facies (*sensu* Birkenmajer 1994, 1995) and to the L2 facies (*sensu* Troedson & Smellie 2002) of the Low Head Member (Table 1).

As shown on the 7 m-thick stratigraphic section measured at Vauréal Peak (Fig. 2, Table 1), at least four gravelly sandstone beds, around 1-1.5m thick occur, normally graded, with erosive base and lenticular geometry at outcrop scale. Beds are composed, from base to top, of massive matrix (**Gmm**) or clast-supported (**Gmc**) gravels, that grade upward into massive sandstones with sparse granules and pebbles (**Sm**).

Invertebrate fossils occur in the lower portions of the section. None of the specimens was found in life position; all of them occur randomly distributed in the matrix. All brachiopods are articulated, lacking the anterior portion of the shell and most of all bivalves are articulated. Most invertebrate specimens (brachiopods and particularly serpulid tubes, bryozoans and echinoderms) are fragmentary, but with no features of prolonged reworking, such as roundness or selection. These characteristics suggest that these are allochthonous fossil assemblages (Brett & Baird 1986, Kidwell *et al.* 1986). The occurrence of pyrite framboids in some fossils (Fig. 3) indicates a period of low oxygen conditions (reducing environment) after deposition and none or very low reworking until lithification of the sediments (Brett & Baird 1986). No evidence of ichnofossils was found, that also suggests a probable reducing environment and absence of reworking by bioturbators (Speyer & Brett 1991).

We interpret these deposits as products of episodic sedimentation from cohesive and non-cohesive debris flows, originated by slumping or even from the action of bottom traction

currents, followed by aggradational deposition of sediments by deceleration of high-energy episodic flows. This facies association is interpreted as deposited in a fan-delta setting, in high- to medium-energy, shallow marine environment (Eyles & Eyles 1992). Regionally, this facies association and arrangement conform to available sedimentary models of a marine transgressive phase, following a retreating grounded ice margin (Porebski & Gradzinski 1987, Santos *et al.* 1990, Birkenmajer 2001, 2003).

The so called “pecten conglomerate” of the Low Head Member (Adie 1962, Barton 1965, discussed in Birkenmajer & Gazdzicki 1986, and Birkenmajer 2001) in the type-area, is the most fossiliferous component of the Polonez Cove Formation. It contains marine macro- and microfossils, including coccoliths, diatoms, foraminifers, polychaete worms, bryozoans, brachiopods, gastropods, scaphopods and echinoderms (Bitner & Pisera 1984, Gazdzicki & Pugaczewska 1984, Jesionek-Szymanska 1984). Some taxa described herein are comparable with fossils previously described from the “pecten conglomerate”; others are for the first time described for the Polonez Cove Formation or even for KGI.

The age of the Low Head Member is still controversial. Available K-Ar dates, Sr-isotope dating and paleontological data from the type-area indicate a latest early Oligocene age (late Rupelian) for this member (Birkenmajer & Gazdzicki 1986, Dingle *et al.* 1997, Dingle & Lavelle 1998, see Fig. 4). So the “pecten conglomerate” of KGI is probably a unit distinct from the Pliocene “pecten conglomerate” (Cockburn Island Formation; Jonkers 1998, 2003) originally described from Cockburn Island, in the Western Weddell Sea.

Taxonomy

Material and methods

Brachiopods were measured with reference to the anterior-posterior axis of the shell (Fig. 5a, b), according to the “landmarks 1 and 9” of Krause (2004, p. 462). Bivalves were measured with reference to the hinge line of the shell. The length, height and width of the bivalve shell correspond to the greatest measured lines parallel, perpendicular and orthogonal to the hinge line, respectively (Fig. 5c, d). Elongation and obesity indexes were calculated according to Stanley (1970). Symbols in tables are as follows: dorsal valve, **D**; ventral valve, **V**; right valve, **R**; left valve, **L**; articulated valves, **D/V** or **R/L**; specimen incomplete, *; length of the anterior outer ligament, **AOL**; length of the posterior outer ligament, **POL**; anterior dorsal valve height, **AVH**; posterior dorsal valve height, **PVH**.

Taxonomy above the genus level applied to the brachiopods is based on the classification of Williams *et al.* (2006); suprageneric names utilized for the bivalves are based on the synoptical classification proposed by Amler (1999); systematics of serpulids, bryozoans and echinoderms follows the classification of Howell (1962), Boardman *et al.* (1983) and Durham *et al.* (1966), respectively.

The stratigraphic distribution of taxa is shown on Fig. 2. All material is from a single locality at Vauréal Peak, and, therefore, data on locality and stratigraphic are not repeated below.

All specimens are housed in the scientific collection of the Laboratório de Paleontologia Sistemática of the Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, under prefix GP/1E.

Systematic Paleontology

Phylum BRACHIOPODA Duméril, 1806

Class ARTICULATA Huxley, 1869

Order TEREBRATULIDA Waagen, 1883

Suborder TEREBRATULIDINA Waagen, 1883

Superfamily TEREBRATULOIDEA Gray, 1840

Family TEREBRATULIDAE Gray, 1840

Subfamily TEREBRATULINAE Gray, 1840

Genus *Liothyrella* Thomson, 1916

Type-species. Terebratula uva Broderip

Remarks. The specimen found at Vauréal Peak shows some of diagnostic characters of the genus *Liothyrella* pointed out by Lee & Smirnova (2006, p. 2056-2057), which are: shell large to very large, elongate oval to subcircular; foramen usually large; teeth narrow; low myophragm; outer hinge plates attached near dorsal edge of crural bases [here called crural plates].

Liothyrella sp.

Fig. 6, Table 2

Material. Internal mould of articulated valves, with anterior part missing (5465).

Description. Shell of medium size, lateral margins rounded; ventral valve apparently more convex than dorsal valve; lateral commissures straight, anterior not preserved. Beak short and erect; foramen large, circular; crural plates triangular, extending along margin of outer hinge plates; hinge teeth narrow, sulcus constricted. Adductor scars of dorsal valve very broad, with myophragma evident; elongate furrows posteriorly in dorsal valve, close to the umbonal region, are possibly related to the muscular field; two sets of several marks of circular shape laterally to the adductors in the posterior region of both valves, possibly correspond to genital scars.

Comparison. *Liothyrella* sp. from Vauréal Peak differs from *Liothyrella* sp. from Cape Melville Formation (Lower Miocene) at Melville Peninsula (Bitner & Crame 2002) in its greater size, more circular shape and higher convexity of the dorsal valve. It is impossible to compare other features of the two taxa because only external characters of the Miocene *Liothyrella* sp. are known, while the Oligocene *Liothyrella* sp. is known only as an internal mould. The *Liothyrella* specimens from the Eocene La Meseta Formation (Bitner 1996) are larger and more elongate. Although Bitner (1997) illustrated a specimen of *Liothyrella* sp. from the Low Head Member of the Polonez Cove Formation at Mazurek Point (p. 26, fig. 4A-C), it is not described or commented on in a taxonomic approach. The shell from Mazurek Point is smaller and more elongate than *Liothyrella* sp. from Vauréal Peak, but it is apparently distorted (compressed) and poorly preserved.

Remarks. *Liothyrella* sp. from Vauréal Peak is the oldest record of the genus from KGI together with the specimen from the Low Head Member at Mazurek Point (illustrated by Bitner 1997, p. 26, fig. 4A-C).

Suborder TEREBRATELLIDINA Muir-Wood, 1955

Superfamily TEREBRATELLOIDEA King, 1850

Family TEREBRATELLIDAE King, 1850

Subfamily TEREBRATELLINAE King, 1850

Genus *Neothyris* Douvillé, 1879

Type-species. *Terebratula lenticularis* Deshayes, 1839

Discussion. Characters attributed to the genus *Neothyris* by MacKinnon & Lee (2006, p. 2231, 2233) shared by specimens from the Polonez Cove Formation at Vauréal Peak are

shell large, smooth; with beak incurved; strong posterior shell thickening; median septum short; crura rather short; loop teloform.

Neothyris sp.

Fig. 7, 8, Table 3

Material. Articulated valves lacking anterior margin (5374c, 5594a); posterior region of articulated valves (5374e, 5438f, 5438g, 5438i, 5464); dorsal valve (5462); posterior region of dorsal valve (5461, 5594b).

Description. Shell of medium size, trigonal to ovoid in outline, ventral valve more convex than dorsal, lateral margins rounded, with greatest width at anterior mid-length; lateral commissure straight, anterior region apparently rounded (in specimen 5594a), posterior region of ventral valve very thick. Shell surface with well defined growth lines. Beak curved, well developed; foramen not observable. Crura and septum reaching around 30 percent of shell length; loop teloform (see Fig. 8). Adductor scars of dorsal valve broad, with myophragm weakly developed; myophragm of ventral valve well developed. Shell microstructure composed of thin primary layer, mosaic structure observed in the second layer; punctae large.

Comparison. Specimens from Vauréal Peak locality are similar to *Neothyris* sp. identified from Lions Rump by Bitner & Pisera (1984), both from Low Head Member of the Polonez Cove Formation. They differ in the smaller size, more ovoid shape and more developed beak of the Vauréal Peak specimens. *Neothyris* sp. from Vauréal Peak resembles *Neothyris* sp. from the Destruction Bay Formation at Melville Peninsula (Biernat *et al.* 1985) in general shape and beak, but is smaller. The differences could be due to ecological factors, but internal characters of the specimens cannot be compared.

Remarks. Neall (1972) pointed out that the anterior region of the *Neothyris* shell is thin and fragile, and the posterior part is the most commonly preserved. All of our specimens preserved only the posterior region of the shell. The lack of preservation of the foramen presents the greater difficulty for the identification of our specimens. However, other characters above described point to the genus *Neothyris*. Besides, the occurrence of *Neothyris* at Vauréal Peak is possible because this genus is common in other Cenozoic deposits of KGI (Bitner & Pisera 1984, Biernat *et al.* 1985, Bitner 1997, Bitner & Crame 2002).

Class BIVALVIA Linné, 1758 (Buonanni, 1641)

Subclass PTERIOMORPHIA Beurlen, 1944

Order PTERIOIDA Newell, 1965

Suborder PTERIINA Newell, 1965

Superfamily PECTINACEA Rafinesque, 1815

Family PECTINIDAE Rafinesque, 1815

Genus *Adamussium* Thiele, 1934

Type-species. *Pecten colbecki* Smith, 1902

Remarks. Jonkers (2003, p. 67) proposed several diagnostic characters of the genus *Adamussium*. Among these, the material from Vauréal Peak presents: shell smooth or with low costae formed by simple crenulation of the disc; very wide umbonal angle; hinge straight or with dorsal projections; anterior auricle of the left valve curved outward, anterior auricle of the right valve with a shallow arcuate to relatively deep and acute byssal notch; and a functional ctenolium may be present in adults.

Adamussium auristriatum sp. nov.

Fig. 9, Table 4

Material. Holotype, internal mould of articulated valves (5457b), external mould of right valve (5457a). Paratypes, internal moulds of articulated valves (5458b); internal moulds of right valve (5301a, 5361, 5405); external moulds of right valve (5301b, 5394, 5458a); external mould of left valve (5428).

Etymology. From Latin *auris* = ear and *striatum* = striated, referring to the radial costae on the anterior auricle.

Diagnosis. Umbonal angle around 130°; commarginal sculpture of lirae, weakly marked, almost equally and widely spaced down the entire shell; RV auricles almost symmetrical, posterior and anterior with well defined commarginal lines, anterior auricle with radial costae.

Description. Shell varying from moderate to small in size, subcircular; dorsal margin short, ventral margin wide and rounded; equant; very compressed, with moderately convex valves; beaks orthogyrate; umbonal angle wide (around 130°); valves slightly opisthoclinal (mean AVH/PVH = 1.10); radial sculpture of around 10-15 main plicae, intercalated with lower and less developed plicae; commarginal sculpture of lirae, weakly marked, almost equally and widely spaced down the entire shell; microsculpture of narrow antimarginal ridgelets; hinge line almost straight; RV auricles highly symmetrical (mean AOL/POL = 1.04), posterior and anterior with well defined commarginal lines, anterior auricle rounded, with 4-6 radial costae; byssal notch acute, ctenolium with six byssal teeth (in 5457b).

Comparison. *Adamussium auristriatum* sp. nov. differs from the Pleistocene-Recent *A. colbecki colbecki* in its smaller size, its equally convex valves, its narrower umbonal angle, its more equally spaced and weaker commarginal sculpture, and the presence of radial

costae on the RV anterior auricle. *A. auristriatum* sp. nov. differs from *A. colbecki cockburnensis* from the Late Pliocene Cockburn Island Formation (Jonkers 2003) in its opisthocline valves, narrower umbonal angle, more symmetrical auricles, weaker commarginal sculpture and the presence of radial costae on the RV anterior auricle. The auricles and umbonal angle of *A. alanbeui* Jonkers, 2003 are very distinct from those of *A. auristriatum* sp. nov., which contains commarginal sculpture and symmetric auricles. However, the pattern of antimarginal microsculpture is very similar in the two. The specimens of *A. alanbeui* from the type-area of Polonez Cove Formation (initially identified as *Eburneopecten* sp. by Gazdzicki & Pugaczewska 1984) are poorly preserved, but the sculpture pattern is very unlike *A. auristriatum* sp. nov. Comparison with other *Adamussium* species is presented in the Table 5.

Remarks. *Adamussium colbecki colbecki* is known from Pliocene and Pleistocene deposits of West Antarctica, and from the Recent of the Southern Ocean (Jonkers 2003). *A. colbecki cockburnensis* is recorded only from Late Pliocene Cockburn Island Formation (Jonkers 2003). One specimen of *A. alanbeui* from the Polonez Cove Formation, presumably from the Low Head Member, at Godwin Cliffs, Lions Rump area, was identified and illustrated by Jonkers (2003). This species differs from other species of *Adamussium* in lacking radial costation and commarginal lirae (Jonkers 2003). Together with *A. alanbeui*, *A. auristriatum* sp. nov. is the oldest record of the genus and probably represents a closer relative to the Recent *A. c. colbecki* than *A. colbecki cockburnensis* and *A. alanbeui* do. Despite the resemblance of the Oligocene *A. auristriatum* sp. nov. to the Recent *A. colbecki colbecki* and the Pliocene *A. colbecki cockburnensis*, it is reasonable that they comprise three distinct, but closely related taxa.

?*Adamussium* cf. *A. alanbeui* Jonkers 2003

Fig. 10, Table 6

Material. Internal mould of articulated valves (5354b); fragment of external mould of left valve (5354a).

Description. Shell small; equant; very compressed; valves orthocone, moderately convex; external sculpture of very thin commarginal growth lines and very faint antimarginal riblets. In right valve, dorsal margin of posterior auricle short; anterior auricle apparently fragmented.

Remarks. Jonkers (2003) pointed out that *A. alanbeui* is distinguished from *A. colbecki* by its smaller size, its lower convexity, and the lack of radial costation and commarginal lirae. *A. alanbeui* (previously identified as *Eburneopecten* sp. by Gazdzicki and Pugaczewska 1984) occurs in Oligocene strata of McMurdo Sound region, in the type-area of the Polonez Cove Formation, KGI, and in Oligocene-Miocene Cape Melville Formation at Melville Peninsula, KGI (Jonkers 2003).

Comparison. The specimen collected from Vauréal Peak resembles *A. alanbeui* erected by Jonkers (2003) mainly in the absence of radial macrosculpture, presence of narrow antimarginal sculpture, and shape and size of the anterior right valve auricle (see Table 5). Although the specimen from Vauréal Peak is poorly preserved, it is a plausible record because *A. alanbeui* is recorded from the Low Head Member at Lions Rump (Jonkers 2003, p. 70).

Superfamily LIMACEA Rafinesque, 1815

Family LIMIDAE Rafinesque, 1815

Genus *Limatula* Wood, 1839

Type-species. Pecten subauriculata Montagu, 1808.

Remarks. Fleming (1978, p. 17) characterized *Limatula* as having “tall, narrow, cylindrical and equilateral shell, almost circular in cross-section when the paired valves are closed, radial ornament, sometimes restricted or best developed in a median zone, flanked by almost smooth anterior and posterior submargins, and having a median structure consisting of a central riblet slightly more prominent than its fellows, reflected internally by a central groove flanked by costellae that are the most prominent internal structure”. However, Fleming (1978) stated that the pattern of radial sculpture is variable among *Limatula* species, with some having radial costellae restricted to an ornamented band in the median part of the disc, others with the ribs persisting on the auricles or persisting but becoming weaker toward the auricles area, and some species having riblets on the ears. Some Recent (Dell 1990, Narchi *et al.* 2002) and fossil species of *Limatula* (Fleming 1978, Beu & Maxwell 1990) have a more trigonal than ovoid shape. All characters proposed by Fleming (1978) as diagnostic of *Limatula* are present in the specimens described here.

Subgenus *Limatula* (*Antarctolima*) Habe, 1977

Type-species. Lima (*Limatula*) *hodgsoni* Smith, 1907

Remarks. Fleming (1978) erected the subgenus *Squamilima* just after Habe (1977) erected *Antarctolima*; both authors based it on the same type-species. Thus, we use the name *Antarctolima* here, despite the fact that Fleming (1978, p. 81) have described the subgenus more accurately. This author pointed out that this *Limatula* group has “medium-sized shell of trigonal to broadly pyriform outline, height about 1.25 times length, with weak auricular sinuses and weak median structure, represented internally by a square-cut sulcus bordered by costellae slightly more prominent than the rest; ornament of regularly spaced, numerous,

crowded ribs separated by narrow deep sulci, decussated by incremental lirae or rugae that may form prominent cusp-like scales on the ribs; radials continuing to the auricles or fading on submargins". All these features are observed in *Limatula* specimens from Vauréal Peak.

Limatula (Antarctolima) ferraziana sp. nov.

Fig. 11, Table 7

Material. Holotype, internal and external moulds (53322, 5324). Paratypes, internal moulds (5360a, 5451, 5452, 5453), external moulds (5309, 5346, 5360b).

Etymology. Referring to the Brazilian Antarctic Station Comandante Ferraz, located at Admiralty Bay, King George Island, West Antarctica.

Diagnosis. Shell pyriform, umbones prominent, sharp; radial sculpture almost reaching auricle area; median ridge more prominent than others, reflected internally as a groove, adjacent ridges to the median more constricted, acute in transverse section; commarginal sculpture more conspicuous when intersecting radial sculpture, with scaly appearance weaker than in *L. (A.) hodgsoni*; auricles small, almost symmetrical, posterior auricle slightly larger than anterior.

Description. Shell varying in height from 12.5 to 27.4 mm; equilateral in smaller specimens, slightly inequilateral in larger specimens; pyriform, equant, moderately inflated; umbones prominent, sharp; radial sculpture of 28-30 well developed ribs, almost reaching auricle area, and reflected internally, median ridge (14-15th) more prominent than others, reflected internally as a groove, adjacent ridges more constricted, with acute margin when observed in transverse section; commarginal sculpture of numerous regularly spaced growth lines, extending to auricle area, raised into scale-like ridges when intersecting radial sculpture; dorsal margin short; ventral margin longer, rounded and slightly crenulated;

hinge line almost straight, hinge edentulous; auricles small, almost symmetrical, posterior auricle slightly larger than anterior.

Comparison. Gazdzicki & Pugaczewska (1984) identified *Limopsis (Pectunculina) cf. insolita* from the Low Head Member (Polonez Cove Formation) at Lions Rump. Their shells are quite similar to the material from Vauréal Peak and we consider that both represent the same species. The size, general shape, ornamentation and auricles are quite similar in both materials. The description by Gazdzicki & Pugaczewska (1984) included features that disagree with the diagnosis provided by Newell (1969, p.248) for the Order Arcoida (which Limopsidae belongs to), and we consider that Gazdzicki & Pugaczewska (1984) misidentified their specimens.

Limatula (Antarctolima) ferraziana sp. nov. is similar to the Recent species *Limatula (Antarctolima) hodgsoni*, which is common in continental and peninsular Antarctica (Fleming 1978, Dell 1990, Absher & Feijó 1998, Narchi *et al.* 2002). It differs from the Recent species in being smaller, and in having smaller auricles and weaker scaly sculpture on the radial ornamentation. Page & Linse (2002) considered *L. (A.) hodgsoni* to be the basal group of Antarctic *Limatula* (which includes *L. hodgsoni*, *L. ovalis* and *L. pygmaea*) and estimated the minimal speciation time of *L. (A.) pygmaea* and *L. (A.) ovalis* to be around 19 Ma. Hence, as the age of the Low Head Member is estimated at 29.8 Ma (Dingle *et al.* 1997), it is not surprising that *L. (A.) ferraziana* sp. nov. is more closely related to *L. (A.) hodgsoni* than to the other Antarctic *Limatula (Antarctolima)* species.

Phylum ANNELIDA Lamarck, 1809

Class POLYCHAETA Grube, 1850

Order ERRANTIDA Audouin & Milne-Edwards, 1832

Family SERPULIDAE Burmeister, 1837

Fig. 12A-D

Material. Several fragmentary calcareous tubes (5288a-d, 5316, 5344, 5349a-c)

Description. The tubes are calcareous, cylindrical, thin, straight, or with some curved in to “L” and “C” shapes; size varying from 3 to 35mm long and 1 to 2mm wide (diameter), most tubes having the same width along their entire length, but some tapering at the tips (possibly due to preservation conditions). Transverse section cylindrical. External ornamentation of 2- 3 primary and 6-8 secondary transverse ridges per mm; smooth internally.

Comparison. Tubes from Vauréal Peak are quite similar to those found in Miocene deposits of CRP-1 (Jonkers & Taviani 1998, Cape Roberts Science Team 1998) and early Oligocene CRP-3 (Taviani & Beu 2001) cores at Cape Roberts, Victoria Land Basin. The external ornamentation of tubes from Vauréal Peak is also similar to that reported from the type-area of the Low Head Member (Gazdzicki & Pugaczewska 1984).

Remarks. The elongate form, cylindrical transverse section, smooth inner surface and calcareous composition are characteristic features of serpulid tubes (see Schweitzer *et al.* 2005 for features of this and other Polychaeta families). Besides, there are several records of polychaete tubes from Paleogene and Neogene deposits of Antarctica (Jonkers & Taviani 1998, Taviani & Beu 2001, Schweitzer *et al.* 2005), including the type-area of Low Head Member of Polonez Cove Formation at KGI (Gazdzicki & Pugaczewska 1984). Also, Recent polychaetes are common in several regions of Antarctic (*e.g.* Cantone 1995, Ramos & San Martín 1999). All these points make the presence of polychaete tubes at Low Head Member of the Polonez Cove Formation at Vauréal Peak plausible.

Phylum BRYOZOA Ehrenberg, 1831

Fig. 12E-I

Material. Several fragments (5300, 5310, 5318a-d, 5318f, 5337, 5349, 5352, 5293).

Remarks. Several taxa of bryozoans are recorded from Oligocene deposits of KGI, including the type-area of the Polonez Cove Formation (Gazdzicki & Pugaczewska 1984). Specimens from Low Head Member at Vauréal Peak are fragments, lacking critical features for taxonomic analysis (e.g. zooids), and some with recrystallized calcite, preventing refined taxonomic identification within the phylum.

Phylum ECHINODERMATA Klein, 1734

Subphylum ECHINOZOA Haeckel in Zittel, 1895

Class ECHINOIDEA Leske, 1778

Echinoidea *incertae sedis*

Fig. 12J-P

Material. internal mould of interambulacrum and external mould of ambulacral plate fragment (5328a), fragment of primary spine (5339).

Description. Specimen 5328a (Fig. 12J-N) corresponds to an interambulacrum and an ambulacral plate. The interambulacrum is 9.1mm x 3.6mm, composed of two columns of six alternating plates; primary tubercles not preserved, instead, the locations of each tubercle next to the adradial suture; miliary tubercles are preserved on the fragment of an ambulacral plate. Specimen 5339 (Fig. 12O-P) corresponds to a spine 27mm long and 0.8mm in diameter; thickness is the same along the length, enlarging at one tip which possibly corresponds to the shaft; external ornamentation of fine longitudinal striations;

transverse section cylindrical, internal microstructure composed of narrow medulla; radiating layer occupying most of the area of the section; cortex layer relatively thick.

Remarks. There are several records of echinoderms from Paleogene and Neogene deposits of KGI (Jesionek-Szymanska 1984, 1987; Meyer 1993; Blake & Aronson 1998); the commonest records, including those from the type-area of the Low Head Member (Jesionek-Szymanska 1984), are assigned to the Order Cidaroida. Representatives of this order have enlarged primary tubercles and conspicuous aureolae. Our specimens, however, comprise two minor fragments (whose primary tubercles are not preserved) and a fragment of spine, which is too thin comparatively to cidaroid spines. These conditions do not allow their assignment to lower taxonomic categories.

Comparative (paleo)ecology

All genera from the Polonez Cove Formation at Vauréal Peak have modern representatives whose environmental preferences and geographical distribution can be used in order to interpret a hypothetical paleoenvironmental scenario for the fossil assemblage in the context of the depositional pattern of the formation.

Liothyrella is a pedunculate, suspension feeder brachiopod occurring from Central America to Antarctica and New Zealand (Foster 1989). The species *Liothyrella uva* Broderip, very common in southern South America and Antarctica, is found at depths up to 1500 m (Foster 1974, 1989; Bitner 1996), in clumps attached to hard substrata and in such cryptic environments as cracks, crevices, and fjords, where turbulence is reduced (Barnes & Clarke 1995, Peck 1996, Peck *et al.* 1997). Specimens of *Liothyrella neozelanica* Thomson from New Zealand, collected at depths of 9-22m, have thicker and larger shells than specimens from depths of 101m (Foster 1989). However, brachiopods are not considered good depth

indicators (Cooper 1977, Foster 1989). Regardless of the fact that physiological adaptation of the brachiopod *L. uva* to polar Antarctic conditions is not well corroborated (Peck & Robinson 1994, Peck 1996, Peck *et al.* 1997), it is only found in cool waters. So, *Liothyrella* sp. from the Polonez Cove Formation may have lived in cool shallow waters, somewhat protected from wave currents, as its modern South American and Antarctic representatives.

Recent *Neothyris* is a free-lying, suspension feeder brachiopod, commonly found in Southern-Hemisphere cool shelf waters, mostly in Subantarctic islands and New Zealand (Neall 1970). The species *N. lenticularis* occurs in subtropical waters from New Zealand to the external boundary of the Circum-Antarctic Current, being absent in Antarctica (Neall 1970). According to this author (Neall 1970) the genus is indicative of mean annual surface water temperature of 8-11°C. Similarly to *Liothyrella* sp., the presence of the genus *Neothyris* in the Polonez Cove Formation corroborates the idea that cool temperate conditions were present in West Antarctica around early Oligocene (Zachos *et al.* 1994, Dmitrenko 2004). *Neothyris* larvae attach at shell fragments or granules, losing totally or partially their pedicles during adult phase (Neall 1970). This may be the case of *Neothyris* from the Polonez Cove Formation, as indicated by the apparently absence of the foramen. Modern forms are found in sandy, shelly and/or pebbly sediments and may tolerate some turbulence (Neall 1970), which also agrees with the depositional framework proposed to the Polonez Cove Formation (Troedson & Smellie 2002; this work).

The Antarctic endemic *Adamussium colbecki* is a suspension feeder bivalve with circumpolar distribution (Chiantore *et al.* 2000). During its earlier stages, the species is found attached by byssus to living adult shells or to hard substrata, while adults are commonly found free-lying (Nicol 1966). Abundant populations are found living at depths

above 100m (Chiantore *et al.* 2000), but isolated specimens are also reported from depths of 594m (Hedley 1916) or even 1500m (Dell 1990). It seems that the water energy is more critical than the nature of the substrate, as *A. colbecki* is found also in hard, gravel, fine sand or silty substrates (Jonkers 2003). Nigro (1993) suggested that strong wave action occurring after sea-ice melting, and the prevalence of rocky substrate might inhibit the presence of *A. colbecki* at depths of 10-15m in Terra Nova Bay. Berkman *et al.* (2004) concluded that *A. colbecki* prefers low-energy deep water environments or coastal areas under sea-ice, while Nigro (1993) supposed that first growth stages may occur in deeper areas and that adults move later towards shallow waters. However, as some adults may live continuously attached by byssus, some water current typical of shallow waters may be tolerable. The presence of deep byssal notch and asymmetric auricles in modern species corroborates this life style (Jonkers 2003). Besides, considering the morphology of the fossil species *A. auristriatum*, it is acceptable that, during the deposition of the Polonez Cove Formation, it might live attached by byssus in pebbles, below wave base environments, or even protected under the sea-ice.

Limatula is a free-lying suspension feeder bivalve with world-wide distribution (Allen 2004), including tropical and polar regions, living from shallow to deep waters (Fleming 1978). Living representatives of *Antarctolima* subgenus occur at depths of 1180m, but higher densities of this brachiopod were found in the Ross Sea from 6-695m (but often in quite shallow water), on hard substrata, gravel or even on the surface mat of sponge spicules (Nicol 1966, Dell 1990). Accordingly, the Oligocene *L. (Antarctolima) ferraziana* sp. nov. may have preferred shallow depths and gravel substrata conditions, as indicated by the inferred depositional pattern of the Polonez Cove Formation.

Paleobiogeography

Figure 13 shows the occurrences of genera *Liothyrella*, *Neothyris*, *Adamussium* and *Limatula* in the latest Cretaceous, late Eocene, early Oligocene, early Miocene and Recent. In spite of the restricted number and diversification, known spatial and stratigraphical distributions of these taxa allow some interesting views on their possible dispersal pattern during the Cenozoic.

Liothyrella, recorded from the Maastrichtian to the Recent, is restricted to the Southern Hemisphere and is more common in Paleogene than in Neogene deposits (Owen 1980, Craig 2000, Bitner & Crame 2002), mainly in Australia and New Zealand. In Antarctica, *Liothyrella* has been recorded from the Eocene La Meseta Formation, Seymour Island, Western Weddell Sea (Bitner 1996). Another record is from the Low Head Member of the Polonez Cove Formation in Mazurek Point (Bitner 1997). According to the paleontological record (Fig. 13a-e), the genus originated during the Maastrichtian in southwestern margin of Australia and possibly migrated during Paleogene along the opening sea way between Australia and Antarctica (Tasmanian Gateway) towards the Antarctic Peninsula (Craig 2000) and southern South America (Fig. 13f). After the middle Eocene *Liothyrella* reached the western edge of Antarctica and southern South America. This is suggested by the presence of Recent *L. uva* in those regions, with five subspecies described by Foster (1989) as evolved clines from South America towards Antarctica.

Neothyris is recorded from the Neogene to the Recent (MacKinnon & Lee 2006) and living species are restricted to New Zealand, Australian (Craig 1999) and Subantarctic (Neall 1972) waters. Fossil records in Antarctica were previously recognized in the Low Head Member of the Polonez Cove Formation at Lions Rump (Bitner & Pisera 1984), and in the late Oligocene Destruction Bay Formation at Melville Peninsula (Biernat *et al.* 1985).

Cohen *et al.* (1998) estimated the divergence time of *Neothyris* from its stem lineage as around 47-63 Ma (early Paleocene to early Eocene). There is no record of *Neothyris* prior to latest early Oligocene (Fig. 13c-e), which does not exclude the possibility of *Neothyris* occurring in West Antarctica during the Eocene. The modern genera closely related to *Neothyris* (according to Cohen *et al.* 1998) are widely distributed in New Zealand and adjacent waters.

Until recently, *Adamussium* was considered as a genus restricted to the Holocene, being represented by the Recent circum-Antarctic *A. colbecki* (Smith, 1902). Fossil records of this genus were firstly reported from Oligocene strata of McMurdo Sound region (Beu & Dell 1989). Further records include specimens from Oligocene/Miocene Cape Melville Formation at Melville Peninsula, KGI (Jonkers 2003); middle Miocene Battye Glacier Formation, East Antarctica (Stilwell *et al.* 2002); late Pliocene Cockburn Island Formation at Cockburn Island, and Holocene Taylor Formation at New Harbour and Minna Bluff (Jonkers 1998) (see Fig. 13c-e). The origin of *Adamussium* is still unclear, as its hypothetical ancestor seems apparently missing (Dell & Fleming 1975, Canapa *et al.* 2000, Jonkers 2003, Barucca *et al.* 2005). This is possibly due to the unique set of characters of the genus and the relatively unknown phylogenetic relationships among the Pectinidae species (Canapa *et al.* 2000, Barucca *et al.* 2005). Jonkers (2003) listed some “primitive” characters that *Adamussium* shares with the Oligocene-Recent *Austrochlamys*. It is possible that the evolutionary histories of both genera are restricted to the Southern Ocean - as fossil and living *Adamussium* are so far found only in West Antarctica - with both genera originated from an ancient pectinid lineage which was already established in West Antarctica prior to the Cenozoic. Once *Adamussium* arose in Antarctic Peninsula, it probably dispersed along the eastern margin of the continent during the Neogene (Fig. 13f).

Limatula is recorded from Middle Jurassic to Recent faunas and has world-wide distribution (Fleming 1978, Allen 2004). In the South Pacific, it occurs from the Cretaceous onwards in New Zealand (Beu & Maxwell 1990), from the Eocene in Australia (Buonaiuto 1977), from the Neogene in southern South America (Ihering 1907, Fleming 1978, Frassinetti 1998), and from the Pleistocene in Victoria Land Basin, Antarctica (Taviani *et al.* 1998; Fig. 13b-e). Fleming (1978) stated that *Limatula* (represented by the group of *Limatula corallina*) originated in the Jurassic in Europe, and occupied Africa and India during Mesozoic. At the end of the Late Cretaceous this group would evolved and possibly occupied the Pacific coast of Gondwana. However, the Recent Antarctic *Limatula* would derivated from stocks of *L. crebresquamata*, from upper Oligocene of Victoria, and entered the Southern Ocean from Australia, a scenario considered by Fleming (1978, p. 86) as “an oversimplification of inadequate data”. Indeed, *L. (Antarctolima) ferraziana* seems more closely related to Recent Antarctic and Subantarctic *Limatula* species (mainly *L. hodgsoni*), than *L. crebresquamata* or any southern South America fossil *Limatula*. Hence *L. (Antarctolima) ferraziana* is the most adequate group to represent the ancestral stock of *Antarticolima* group. Considering paleogeographic reconstructions and morphological affinities of Southern Ocean *Limatula* species, it would be more plausible to assume that, in the case *L. (Antarctolima)*, ancient lineages were already present in the Pacific margin of Gondwana during the early Cenozoic.

Figure 13f synthesizes the fossil record of *Liothyrella*, *Adamussium* and *Limatula* represented in Fig. 13a-e. The dispersal pattern roughly fits the onset of the Circum-Antarctic Current - that started close to the Eocene/Oligocene boundary and was completely shaped during the late Oligocene (Pfuhl & McCave 2005) or later, during middle Miocene (Barker & Thomas 2004) - at two steps. In the first step the oldest taxa

(*Liothyrella* and *Limatula*) dispersed after Tasmanian Gateway opening (~33 Ma, Exon *et al.* 2001), during early Cenozoic, from Australia and New Zealand towards the Antarctic Peninsula, through cool currents that represent the western portion of Circum-Antarctic Current (Lazarus & Caulet 1993). While the fossil record shows that *Liothyrella* may have dispersed previously than Tasmanian Gateway opening (Fig. 13), Beu *et al.* (1997) considered larvae dispersal unlikely to have occurred before the development of the Circum-Antarctic Current. Although this cool current initiated later than Eocene/Oligocene boundary, a warmer current flowing from southeast Australia towards southern South America existed during Paleocene to Eocene (Lazarus & Caulet 1993, p. 165, fig. 18), and may have been responsible for the dispersal of some taxa, as *Liothyrella*, during this interval. The first step of dispersal is in accordance with the context of Weddellian Province proposed by Zinsmeister (1979), as we are considering the faunal distribution regardless proximity of landmasses. In addition, *Neothyris* and *Limatula* dispersal routes extend to the Paleogene the hypothesis of larvae transporting from New Zealand/Chatham Rise to Antarctic Peninsula proposed by Stilwell (1997).

The second step was accomplished after the Drake Passage opening initiated at 28Ma or earlier (Barker & Thomas 2004), following development of eastern part of the Circum-Antarctic Current (~24Ma, Pfuhl & McCave 2005). At the end of Paleogene, both genera reached South America. At the beginning of the Neogene, intensification of the Circum-Antarctic Current around the eastern margin of Antarctica allowed the dispersal of *Adamussium* and *Limatula* around Antarctica. Considering that the dispersal pattern implies a clockwise route, the presence of *Limatula* in New Zealand at the end of Cretaceous foresees that this genus may be present also in Australia during this time. *Neothyris* lacks a clear dispersal pattern, probably due to its incomplete record. Two possible routes can be

assigned to this genus: through currents that would have flowed in a shallow sea that existed between West and East Antarctica during early Oligocene to middle Miocene (Lazarus & Caulet 1993), as indicated in Fig. 13f; or the genus would have followed the second stage of dispersal over eastern margin of Antarctica at the end of Paleogene.

Tasmanian Gateway and Drake Passage openings are considered “key deep sea ocean gateways” (Crame 1999, p. 4) of the Antarctic geological history and, not surprisingly, affected biotic composition and distribution in Southern Ocean (Beu *et al.* 1997) by changing oceanic circulation during the Cenozoic.

Concluding remarks

Paleontological results presented here provide new taxonomic information about the diversity of Paleogene invertebrates in West Antarctica, including new occurrences of brachiopod and bivalve genera - *Neothyris* sp., *Adamussium auristriatum* sp. nov. and *Limatula (Antarctolima) ferraziana* sp. nov. -, that may represent some of the oldest lineages of these genera so far recorded in KGI and Antarctica. This new information raises some questions about the paleobiogeographic evolution in Southern Ocean, as how the thermal isolation of Antarctica affected evolving biota from Southern Ocean areas. Even though such major questions are not the main scope of this work, some interesting aspects bearing on the theme can be achieved.

Taxa from the Polonez Cove Formation at Vauréal Peak (*Neothyris* sp., *Liothyrella* sp., *Adamussium auristriatum*, *Limatula ferraziana*, serpulid tubes and echinoid fragments) have modern representatives. As discussed above, brachiopods and bivalves have wide bathymetric range. Indeed most Recent bivalves have significantly wide depth ranges in Antarctica (Brey *et al.* 1996), that is interpreted by Barnes *et al.* (2006, p. 124) as a

suggestion of the presence of a "past shelf refugia". Species of wide bathymetric ranges would be favored after events of expansion and recession of ice sheet grounding line (Barnes *et al.* 2006). Where ice offered some protection these species would be able to persist in shelf areas. So, it is possible that at times of the deposition of Polonez Cove Formation, presence of sea-ice offered some protection to the fauna, as also indicated by the environmental preferences of the modern *Adamussium colbecki*.

Considering the depositional model of the Polonez Cove Formation, it is plausible to say that invertebrates at Vauréal Peak lived in a shallow marine environment. This is also indicated by the substrate preferences of modern species, except for *Adamussium colbecki* which may lives in virtually all kinds of substrate. Moreover, apart from the echinoid, all of them are suspension feeders, which means that some water movement for filtering was required. From the taphonomic data it is also probable that the fossil fauna lived below the fair-weather wave base, as no reworking features are observed in specimens.

Regardless the fact that we are considering only four taxa from only one locality, the proposed dispersal pattern seems consistent with available models of oceanic circulation during fragmentation of Gondwana, when Australia/Antarctica and Antarctic Peninsula/South America separated (Lazarus & Caulet 1993, Exon *et al.* 2001). For this reason, the dispersal pattern here proposed is considered as a first approach.

Almost all modern representatives of the Vauréal Peak fauna live in Antarctica, including *A. colbecki*, that is distributed only in areas inside the Antarctic Convergence. The exception is *Neothyris*, that occurs in cool-temperate water of New Zealand. This suggests that at least part of the modern Antarctic faunal configuration was outlined during latest early Oligocene, even though the cool polar climate as observed today was not present during that period.

Acknowledgements

We are grateful to A. Beu and M.A. Bitner for providing bibliography, revising the original manuscript and for suggestions that improved it; to H.A. Jonkers for providing bibliography and for discussions on pectinid taxonomy; to L. M. Gahagan for allowing the use of her paleogeographical reconstructions; and to L.V. Warren and R.P. Almeida for assistance with geological descriptions. This paper is a contribution to PROANTAR - CNPq project 55.0352/2002-3, Mudanças climáticas durante o Cenozóico: o registro geológico terrestre.

References

- ABSHER, T.M. & FEIJÓ, A.R. 1998. Morphology and Ecology of bivalve molluscs from Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **41** (4), 437-446.
- ADIE, R.J. 1962. The geology of Antarctica. In WEXLER, H., RUBIN, M.J. & CASKEY, J.E., eds. *Antarctic Research*. Washington: American Geophysical Union, Geophysical Monographs, **7**, 23-39.
- ALLEN, J.A. 2004. The Recent species of the genera *Limatula* and *Limea* (Bivalvia, Limacea) present in the Atlantic, with particular reference to those in deep water. *Journal of Natural History*, **38**, 2591–2653.
- AMLER, M.R.W. 1999. Synoptical classification of fossil and Recent Bivalvia. *Geologica et Palaeontologica*, **33**, 237-248.
- ANELLI, L.E., ROCHA-CAMPOS, A.C., SANTOS, P.R. DOS, PERINOTTO, J.A. DE J., & QUAGLIO, F. 2006. Early Miocene bivalves from the Cape Melville Formation, King George Island, West Antarctica. *Alcheringa*, **30**, 111-132.
- BARKER, P.F. & THOMAS, E. 2004. Origin, signature and paleoclimatic influence of the Antarctic Circumpolar Current. *Earth-Science Reviews*, **66**, 143-162.
- BARNES, D.K.A. & CLARKE, A. 1995. Epibiotic communities on sublittoral macroinvertebrates at Signy Island, Antarctica. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **75**, 689–703.
- BARNES, D. K. A., HODGSON, D. A., CONVEY, P., ALLEN, C. S. & CLARKE, A. 2006. Incursion and excursion of Antarctic biota: past, present and future. *Global Ecology and Biogeography*, **15**, 121–142.

- BARTON, C.M. 1965. The geology of South Shetland Islands. III. The stratigraphy of King George Island. *Scientific Reports, British Antarctic Survey*, **44**, 1-33.
- BARUCCA, M., OLMO, E., CAPRIGLIONE, T., ODIERNA, G. & CANAPA, A. 2005. Taxonomic considerations on the Antarctic species *Adamussium colbecki* based on molecular data. In P. LUPORINI & M. MORBIDONI, eds. *Polarnet Technical Report, Proceedings of the Fifth PNRA Meeting on Antarctic Biology*, Messina, 53-57.
- BERKMAN, P.A., CATTANEO-VIETTI, R., CHIANTORE, M. & HOWARD-WILLIAMS, C. 2004. Polar emergence and the influence of increased sea-ice extent on the Cenozoic biogeography of pectinid molluscs in Antarctic coastal areas. *Deep-Sea Research II*, **51**, 1839-1855.
- BEU, A.G. & DELL, R.K. 1989. Mollusca. In BARRET, P.J., ed. *Antarctic Cenozoic history from the CIROS-1 drill-hole, McMurdo Sound*. Wellington: Department of Scientific and Industrial Research, DSIR Bulletin, **245**, 135-141.
- BEU, A.G. & MAXWELL, P.A. 1990. Cenozoic Mollusca of New Zealand. *New Zealand Geological Survey Paleontological Bulletin*, **58**, 518 pp.
- BEU, A.G., GRIFFIN, M. & MAXWELL, P.A. 1997. Opening of Drake Passage gateway and Late Miocene to Pleistocene cooling reflected in Southern Ocean molluscan dispersal: evidence from New Zealand and Argentina. *Tectonophysics*, **281**, 83-97.
- 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**, 109-141.
- BIRKENMAJER, K. 1982. Pliocene tillite-bearing succession of King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, **74**, 7-72.

- BIRKENMAJER, K. 1994. Geology of Tertiary glaciogenic deposits and volcanics (Polonia Glacier Group and Chopin Ridge Group) at Lions Rump (SSSI No. 34), King George Island, West Antarctica. *Polish Academy of Sciences: Earth Sciences, Bulletin*, **42** (3), 207-221.
- BIRKENMAJER, K. 1995. Basal and intraformation unconformities in Lower Oligocene glaciogenic deposits (Polonez Cove Formation), King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, **107**, 93-123.
- BIRKENMAJER, K. 2001. Mesozoic and Cenozoic stratigraphy units in parts of the South Shetland Islands and Northern Antarctic Peninsula (as used by the Polish Antarctic programmes). *Studia Geologica Polonica*, **118**, 188 pp.
- BIRKENMAJER, K. 2003. Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Island, West Antarctica): a geological monograph. *Studia Geologica Polonica*, **120**, 73 pp.
- BIRKENMAJER, K. & GAZDZICKI, A. 1986. Oligocene age of the *Pecten* Conglomerate on King George Island, West Antarctica. *Bulletin of the Polish Academy of Science: Earth Sciences*, **34** (2), 219-226.
- BIRKENMAJER, K., SOLIANI, E. JR & KAWASHITA, K. 1989. Geochronology of Tertiary glaciations on King George Island, West Antarctica. *Polish Academy of Sciences: Earth Sciences, Bulletin*, **37**: 27-48.
- BITNER, M.A. 1996. Brachiopods from the Eocene La Meseta Formation of Seymour Island, Antarctic Peninsula. In GAZDZICKI, A., ed. Palaeontological Results of the Polish Antarctic Expeditions. Part II. *Palaeontologia Polonica*, **55**, 65-100.
- BITNER, M.A. 1997. Cenozoic brachiopod fauna of Antarctica. In: GLOWACKI, P., ed. 24th Polar Symposium. Warszawa: Polish Academy Sciences: *Polish Polar Studies*, 21- 29.

- BITNER, M.A. & CRAME, J.A. 2002. Brachiopods from the Lower Miocene of King George Island, West Antarctica. *Polish Polar Research*, **23** (1), 75-84.
- BITNER, M.A. & PISERA, A. 1984. Brachiopods from the “Pecten conglomerate” (Polonez Cove Formation, Pliocene) of King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, **79**, 121-124.
- BITNER, M.A. & THOMSON, M.R.A. 1999. Rhynchonellid brachiopods from the Oligocene of King George Island, West Antarctica. *Polish Polar Research*, **20** (2), 83-88.
- BLASZYK J. 1987. Ostracods from the Oligocene Polonez Cove Formation of King George Island, West Antarctica. *Palaeontologia Polonica*, **49**, 63–81.
- BLAKE, D.B. & ARONSON, R.B. 1998. Eocene stelleroids (Echinodermata) at Seymour Island, Antarctica Peninsula. *Journal of Paleontology*, **72** (2), 339-353.
- BOARDMAN, R.S., CHEETHAM, A.H. & COOK, P.L. 1983. Introduction to Bryozoa. In ROBINSON, R.A., ASHLOCK, V., KEIM, J. & WILLIAMS, R.B., eds. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. New York: Geological Society of America, Part G, Bryozoa (Revised), **1**, 3-48.
- BRETT, C.E. & BAIRD, G.C. 1986. Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. *Palaios*, **1**, 207-227.
- BREY, T., DAHM, C., GORNY, M., KLAGES, M., STILLER, M. & ARNTZ, W.E. 1996. Do Antarctic benthic invertebrates show an extended level of eurybathy? *Antarctic Science*, **8** (1), 3-6.
- BRIGGS, J.C. 2003. Marine centres of origin as evolutionary engines. *Journal of Biogeography*, **30**, 1-18.

- BUONAIUTO, M.F. 1977. Revision of the Australian Tertiary species ascribed to *Limatula* Wood (Mollusca, Bivalvia). *Transactions of the Royal Society of South Australia*, **101**, part 1, 21-33.
- CANAPA, A., BARUCCA, M., MARINELLI, A. & OLMO, E. 2000. Molecular data from the 16rRNA gene for the phylogeny of Pectinidae (Mollusca : Bivalvia). *Journal of Molecular Evolution*, **50**, 93-97.
- CANTONE, G. 1995. Polychaeta "Sedentaria" of Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica): Capitellidae to Serpulidae. *Polar Biology*, **15**, 295-302.
- CAPE ROBERTS SCIENCE TEAM. 1998. Miocene strata in CPR-1, Cape Roberts Project, Antarctica. *Terra Antartica*, **5** (1), 63-124.
- CHIANTORE, M., CATTANEO-VIETTI, R., POVERO, P. & ALBERTELLI, G. 2000. The population structure and ecology of the Antarctic scallop *Adamussium colbecki* in Terra Nova Bay. In FARANDA, F., GUGLIELMO, L., IANORA, A., eds. *Ross Sea Ecology*. Springer, Berlin Heidelberg, New York, 563-573.
- COHEN, B.L., GAWTHROP, A. & CAVALIER-SMITH, T. 1998. Molecular phylogeny of brachiopods and phoronids based on nuclear-encoded small subunit ribosomal RNA gene sequences. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **353** (1378), 2039-2061.
- COOPER, G.A. 1977. Brachiopods from the Caribbean Sea and adjacent waters. *Studies in Tropical Oceanography*, **14**, 1-211.
- CRAIG, R.S. 1999. A new Pliocene terebratulid brachiopod from the Roe Calcarenite, Eucla Basin of southern Australia. *Records of the Western Australian Museum*, **19** (3), 267-275.
- CRAIG, R.S. 2000. The Cenozoic brachiopods of the Carnavon Basin, Western Australia. *Palaeontology*, **43**, part 1, 111-152.

- CRAME, J.A. 1999. An evolutionary perspective on marine faunal connections between southernmost South America and Antarctica. *Scientia Marina*, **63**, supl.1, 1-14.
- DELL, R.K. 1990. Antarctic Mollusca with special reference to the fauna of the Ross Sea. *Bulletin of the Royal Society of New Zealand*, **27**, 1-311.
- DELL, R.K. & FLEMING, C.A. 1975. Oligocene-Miocene bivalve Mollusca and other macrofossils from sites 270 and 272 (Ross Sea), Deep Sea Drilling Project Leg 28. *Initial Report of the Deep Sea Drilling Project*, **28**, 693-703.
- DINGLE, R.V. & LAVELLE, M. 1998. Late-Cretaceous-Cenozoic climatic variations of the northern Antarctic Peninsula: new geochemical evidence and review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **141**, 215-232.
- DINGLE, R.V., MCARTHUR, J.M. & VROON, P. 1997. Oligocene and Pliocene interglacial events in the Antarctic Peninsula dated using strontium isotope stratigraphy. *Journal of the Geological Society, London*, **154**, 257-264.
- DMITRENKO, O.B. 2004. Paleoclimatic environment of the Paleogene Southern Ocean by nannofossils. *Oceanology*, **44** (1), 121-133.
- DURHAM, J.W., FELL, H.B., FISCHER, A.G., KIER, P.M., MELVILLE, R.V., PAWSON, D.L. & WAGNER, C.D. 1966. Systematic descriptions. In MOORE, R.C., ed. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. New York: Geological Society of America, Part U, Echinodermata 3, **3**, 297-672.
- EXON, N.F., KENNETT, J.P., MALONE, M.J., BRINKHUIS, H., CHAPRONIERE, G.C.H., ENNYU, A., FOTHERGILL, P., FULLER, M.D., GRAUERT, M., HILL, P.J., JANECEK, T.R., KELLY, D.C., LATIMER, J.C., NEES, S., NINNEMANN, U.S., NUERNBERG, D., PEKAR, S.F., PELLATON, C.C., PFUHL, H.A., ROBERT, C.M., ROESSIG, K.L., ROEHL, U., SCHELLENBERG, S.A., SHEVENELL, A.E., STICKLEY, C.E., SUZUKI, N., TOUCHARD, Y., WEI, W. & WHITE, T.S. 2001. The

- Tasmanian Gateway: Cenozoic climatic and oceanographic development, sites 1168-1172. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports*, **189**, 98p.
- EYLES, N. & EYLES, C.H. 1992. Glacial depositional systems. In WALKER, R.G. & JAMES, N.P., eds. *Facies models: responses to sea level change*. St. Johns: Geological Association of Canada, 73-100.
- FLEMING, C.A. 1978. The bivalve mollusc genus *Limatula*: a list of described species and a review of living and fossil species in the Southwest Pacific. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, **8** (1), 17-91.
- FOSTER, M.W. 1974. Recent Antarctic and Subantarctic brachiopods. *Antarctic Research Series 21*, American Geophysical Union, Washington, 189 p.
- FOSTER, M.W. 1989. Brachiopods from the extreme South Pacific and adjacent waters. *Journal of Paleontology*, **63** (3), 268-301.
- FRASSINETTI, D.C. 1998. Moluscos del Plioceno Superior marino de Isla Guafo, sur de Chile. Parte 1, Bivalvia. *Museo Nacional de Historia Natural, Boletín (Santiago)*, **46**, 55-79.
- GAZDZICKA, E. & GAZDZICKI, A. 1985. Oligocene coccoliths of the *Pecten* conglomerate, West Antarctica. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, **12**, 727-735.
- GAZDZICKI, A. & PUGACZEWSKA, H. 1984. Biota of the "Pecten conglomerate" (Polonez Cove Formation, Pliocene) of King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, **79**, 59-120.
- HABE, T. 1977. Notes on *Antarctolima* (n. gen.) *hodgsoni* (Smith, 1907). *Venus*, **36**, 105-107.

- HEDLEY, C. 1916. Mollusca. *Australasian Antarctic Expedition 1911-1914, Scientific Reports C, Zoology and Botany*, **4**, 1-80.
- HOWELL, B.F. 1962. Worms. In MOORE, R.C., ed. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. New York: Geological Society of America, Part W, Miscelanea, 144- 177.
- IHERING, H. VON. 1907. Les Mollusques fossiles du Tertiaire et du Crétacé Superior de l'Argentine. *Anales del Museo Nacional de Buenos Aires*, **14** (III, IV), 611 p.
- JESIONEK-SZYMANSKA, W. 1984. Echinoid remains from "Pecten conglomerate" (Polonez Cove Formation, Pliocene) of King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, **79**, 125-130.
- JESIONEK-SZYMANSKA, W. 1987. Echinoids from the Cape Melville Formation (Lower Miocene) of King George Island, West Antarctica. *Palaeontologia Polonica*, **49**, 163- 168.
- JONKERS, H.A. 1998. Stratigraphy of Antarctic late Cenozoic pectinid-bearing deposits. *Antarctic Science*, **10**, 161-170.
- JONKERS, H.A. 2003. Late Cenozoic-Recent Pectinidae (Mollusca: Bivalvia) of the Southern Ocean and neighbouring regions. *Monographs of Marine Mollusca*, **5**, 125 pp.
- JONKERS, H.A. & TAVIANI, M. 1998. Lower Miocene macrofossils from CRP-1 drillhole, Cape Roberts (Victoria Land Basin), Antarctica. *Terra Antartica*, **5** (3), 493- 498.
- KIDWELL, S.M., FÜRSICH, F.T. & AIGNER, T. 1986. Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations. *Palaios*, **1**, 228-238.
- KRAUSE, R.A. JR. 2004. An assessment of morphological fidelity in the sub-fossil record of a terebratulide brachiopod. *Palaios*, **19**, 460-476.
- LAZARUS, D. & CAULET, J.P. 1993. Cenozoic Southern Ocean reconstructions from sedimentologic, radiolarian, and other microfossil data. In KENNETT, J.P. & WARNKE, D.A.,

eds. *Antarctic Research Series*, **60**: *The Antarctic paleoenvironment: a perspective on global change. Part 2*, 145-174.

LEE, D.E. & SMIRNOVA, T.N. 2006. Terebratuloidea. In KAESLER, R.L., ed. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Boulder: The Geological Society of America & Lawrence: The University of Kansas, Part H (Revised), **5**, 2054-2081.

MACKINNON, D.I. & LEE, D.E. 2006. Terebratelloidea. In KAESLER, R.L., ed. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Boulder: The Geological Society of America & Lawrence: The University of Kansas, Part H (Revised), **5**, 2229-2244.

MEYER, D.L. 1993. Eocene crinoids from Seymour Island, Antarctica Peninsula: paleobiogeographic and paleoecological implications. *Journal of Paleontology*, **67** (2), 250-257.

NARCHI, W., DOMANESCHI, O. & PASSOS, F.D. 2002. Bivalves antárticos e subantárticos coletados durante as expedições científicas brasileiras à Antártica I a IX (1982-1991). *Revista Brasileira de Zoologia*, **19** (3), 645-675.

NEALL, V.E. 1970. Notes on the ecology and paleoecology of *Neothyris*, an endemic New Zealand brachiopod. *New Zealand Journal of Marine & Freshwater Research*, **4**, 117-125.

NEALL, V.E. 1972. Systematics of the endemic New Zealand brachiopod *Neothyris*. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, **2** (2), 229-247.

NEWELL, N.D. 1969. Order Arcoida Stoliczka, 1871. In MOORE, R.C., ed. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. New York: Geological Society of America, Part N, Mollusca 6, Bivalvia, **1**, 248-270.

NICOL, D. 1966. Descriptions, ecology and geographic distribution of some Antarctic pelecypods. *Bulletin of American Paleontology*, **51** (231), 1-102.

- NIGRO, M. 1993. Nearshore population characteristics of the circumpolar Antarctic scallop *Adamussium colbecki* (Smith, 1902) at Terra Nova Bay (Ross Sea). *Antarctic Science*, **5** (4), 377-378.
- OWEN, E.F. 1980. Tertiary and Cretaceous brachiopods from Seymour, Cockburn and James Ross Islands, Antarctica. *Bulletin of the British Museum of Natural History*, **33** (2), 123-145.
- PAGE, T.J. & LINSE, K. 2002. More evidence of speciation and dispersal across the Antarctic Polar Front through molecular systematics of Southern Ocean *Limatula* (Bivalvia: Limidae). *Polar Biology*, **25**, 818-826.
- PECK, L.S. 1996. Metabolism and feeding in the Antarctic brachiopod *Liothyrella uva*: a low energy lifestyle species with restricted metabolic scope. *Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences*, **263**, 223-228.
- PECK, L.S. & ROBINSON, K. 1994. Pelagic larval development in the brooding Antarctic brachiopod *Liothyrella uva*. *Marine Biology*, **120**, 279-286.
- PECK L.S., BROCKINGTON S. & BREY, T. 1997. Growth and metabolism in the Antarctic brachiopod *Liothyrella uva*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **352**, 851-858.
- PFUHL, H.A. & MCCAIVE, I.N. 2005. Evidence for late Oligocene establishment of the Antarctic Circumpolar Current. *Earth and Planetary Science Letters*, **235**, 715-728.
- POREBSKI, S.J. & GRADZINSKI, R. 1987. Depositional history of the Polonez Cove Formation (Oligocene), King George Island, West Antarctica: a record of continental glaciation, shallow-marine sedimentation and contemporaneous volcanism. *Studia Geologica Polonica*, **97**, 7-62.

- POREBSKI, S.J. & GRADZINSKI, R. 1990. Lava-fed Gylbert-type delta in the Polonez Cove Formation (Lower Oligocene), King George Island, West Antarctica. *Special Publications, International Association of Sedimentologists*, **10**, 335-351.
- PUGACZEWSKA, H. 1984. Tertiary Bivalvia and Scaphopoda from glaciomarine deposits at Magda Nunatak, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, **79**, 53-58.
- RAMOS, A. & SAN MARTÍN, G. 1999. On the finding of a mass occurrence of *Serpula narconensis* Baird, 1885 (Polychaeta, Serpulidae) in South Georgia (Antarctica). *Polar Biology*, **22**, 379-383.
- SANTOS, P.R. DOS, ROCHA-CAMPOS, A.C., TOMPETTE, R., UHLEIN, A., GIPP, M. & SIMÕES, J.C. 1990. Review of Tertiary Glaciation in King George Island, West Antarctica: Preliminary results. *Pesquisa Antártica Brasileira*, **2** (1), 87-99.
- SCHWEITZER, C.E., FELDMANN, R.M., MARENSSI, S. & WAUGH, D.A. 2005. Remarkably preserved annelid worms from the La Meseta Formation (Eocene), Seymour Island, Antarctica. *Paleontology*, **48**, 1-13.
- SMELLIE, J.L., PANKHURST, R.J., THOMSON, M.R.A. & DAVIES, R.E.S. 1984. The geology of the South Shetland Islands. VI. Stratigraphy, geochemistry and evolution. *Scientific Reports, British Antarctic Survey*, **87**: 1-85.
- SPEYER, S.E. & BRETT, C.E. 1991. Taphofacies controls. Background and episodic processes in fossil assemblage preservation. In ALLISON, P.A. & BRIGGS, D.E.G, eds. *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record*. New York: Plenum Press, 501-545.
- STANLEY, S.M. 1970. Relation of shell form to life habits of the Bivalvia (Mollusca). *Geological Society of America Memoir*, **125**, 1-296.

STILWELL, J.D. 1997. Tectonic and palaeobiogeographic significance of the Chatham Islands, South Pacific, Late Cretaceous fauna. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **36**, 97-119.

STILWELL, J.D., HARWOOD, D.M. & WHITEHEAD, J.M. 2002. Mid-Tertiary macroinvertebrate-rich clasts from the Battye Glacier Formation, Prince Charles Mountains, East Antarctica. *Antarctic Science*, **14**, 69-73.

TAVIANI, M. & BEU, A.G. 2001. Paleogene macrofossils from CRP-3 drillhole, Victoria Land Basin, Antarctica. *Terra Antartica*, **8** (3), 1-12.

TAVIANI, M., BEU, A.G. & LOMBARDO, C. 1998. Pleistocene macrofossils from CRP-1 drillhole, Victoria Land Basin, Antarctica. *Terra Antartica*, **5** (3), 485-491.

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, Section B: Stratigraphy and Global Studies*, **72** (4), 510-523.

TROEDSON, A.L. & SMELLIE, J.L. 2002. The Polonez Cove Formation of King George Island, Antarctica: stratigraphy, facies and implications for mid-Cenozoic cryosphere development. *Sedimentology*, **49**, 277-301.

WILLIAMS, A., BRUNTON, C.H.C., CARLSON, S.J., BAKER, P.G., CARTER, J.L., CURRY, G.B., DAGYS, A.S., GOURVENNEC, R., HONG-FEI, H., YU-GAN, J., JOHNSON, J.G., LEE, D.E., MACKINNON, D.I., RACHEBOEUF, P.R., SMIRNOVA, T.N. & DONG-LI, S. 2006. Brachiopoda. In KAESLER, R.L., ed. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Boulder: The Geological Society of America & Lawrence: The University of Kansas, Part H (Revised), Rhynchonelliformea (part), **5**, 1689-2320.

ZACHOS, J., PAGANI, M., SLOAN, L., THOMAS, E. & BILLUPS, K. 1994. Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present. *Science*, **292**, 686-693.

ZINSMEISTER, E.J. 1979. Biogeographic significance of the Late Mesozoic and Early Tertiary molluscan faunas of Seymour Island (Antarctic Peninsula) to the final breakup of Gondwanaland. In GRAY, J. & BOUCOT, A., eds. *Historical biogeography, Plate Tectonics and the changing environment. Proceedings of the 37th Annual Biology Colloquium and Selected Papers*, Oregon State University Press, Corvallis, Oregon, pp. 349-355.

ZINSMEISTER, W.J. 1982. Late Cretaceous-Early Tertiary molluscan biogeography of the southern circum-Pacific. *Journal of Paleontology*, **569** (1), 84-102.

Figure captions

Fig. 1. Location maps of the Polonez Cove Formation exposures and other related units. **a.** location of Vauréal Peak, Admiralty Bay, King George Island, Antarctica; the area inside the square corresponds to Cenozoic glacial sediments detailed in **b.** **b.** occurrence of the Polonez Cove Formation and associated stratigraphic units (adapted from Birkenmajer 2001 and Troedson & Smellie 2002).

Fig. 2. Stratigraphic column of the Polonez Cove Formation measured at Vauréal Peak.

Fig. 3. Pyrite framboids occurring in bryozoan specimen 5352. **a.** framboids photographed by SEM (scale bar = 2 μ m). **b.** EDS granules composition.

Fig. 4. Stratigraphic position of Cenozoic units at Vauréal Peak (plotted ages after studies in other locations in which these units also occur); 1, K-Ar dating of basaltic lava at Polonez Cove (Birkenmajer & Gazdzicki 1986); 2, K-Ar dating of andesitic lava at Turret Point (Birkenmajer *et al.* 1989); 3, K-Ar dating of andesitic lava at Lions Rump (Smellie *et al.* 1984); 4, Strontium-isotope dating of bivalve shells from Krakowiak Glacier Member tillites at Polonez Cove (Dingle & Lavelle 1998); 5, Strontium-isotope dating of bivalve shells from Low Head Member conglomerates at Low Head, Polonez Cove and Lions Rump (Dingle *et al.* 1997); 6, Strontium-isotope dating of bivalve and brachiopod shells from basal tillites at Magda Nunatak (Dingle & Lavelle 1998); 7, KAr minimum age from andesite-dacite lavas at Polonez Cove and Boy Point (Birkenmajer & Gazdzicki 1986).

Fig. 5. Orientation and characters measured. **a-b.** brachiopod. **c-d.** bivalve. **a.** lateral view; **b.** dorsal view. **c.** anterior view; **d.** lateral view of RV. **ADM**, anterior dorsal margin; **AM**, anterior margin; **AOL**, length of the anterior outer ligament; **AVH**, anterior dorsal valve height; **AVM**, anterior ventral margin; **DM**, dorsal margin; **H**, height; **HL**, hinge line; **L**, length; **LM**, lateral margin; **PDM**, posterior dorsal margin; **PM**, posterior margin; **POL**, length of the posterior outer ligament; **PVH**, posterior dorsal valve height; **PVM**, posterior ventral margin; **T**, thickness; **UA**, umbonal angle; **VM**, ventral margin; **W**, width.

Fig. 6. *Liothyrella* sp. **a-d.** specimen 5465, internal mould of articulated pair; **a.** ventral view; **b.** dorsal view; **c.** posterior view; **d.** lateral view. **e.** latex cast of anterior region of 5465, dotted line marks the limit between ventral (upper) and dorsal (lower) valves (all bars = 5mm).

Fig. 7. *Neothyris* sp. **a-c.** specimen 5374c, articulated pair; **a.** posterior view; **b.** lateral view; **c.** ventral view. **d-e.** specimen 5374e, articulated pair lacking anterior part; **d.** posterior view; **e.** ventral view. **f-m.** specimen 5594a-b, posterior part of shell and internal mould of articulated valves of same individual; **f.** ventral view of internal mould; **g.** the same with posterior part added; **h.** dorsal view of internal mould; **i.** the same with posterior part added; **j.** lateral view; **k.** posterior view of internal mould; **l.** the same with posterior part added; **m.** internal view of posterior part (all bars = 5mm). **n-q.** microstructure photographed by SEM; **n-p.** specimen 5300; **n.** primary (p) and secondary (s) calcitic layers (scale bar = 200 μ m); **o.** detail of **n**, showing secondary layer only (scale bar = 100 μ m); **p.** mosaic arrangement of secondary layer (scale bar = 10 μ m). **q.** specimen 5438, showing punctae (scale bar = 100 μ m).

Fig. 8. Serial sections of *Neothyris* sp. Numbers represent distance (mm) from ventral beak; dorsal valve is upward; filled areas correspond to calcitic shell; first appearance of some structures is indicated. Length of specimen around 25mm (scale bar = 5mm).

Fig. 9. *Adamussium auristriatum* sp. nov. **a-h.** holotype 5457a-b; **a-b** (5457a), external mould of RV; **b.** detail of auricles; **c-h** (5457b), internal mould of articulated pair; **c.** right view; **d.** left view; **e.** anterior view; **f.** posterior view; **g.** dorsal view; **h.** detail of ctenolium, showing teeth sockets (arrows). **i.** latex cast of ctenolium of 5457b, showing teeth (arrows). **j-k.** paratype 5394-5405, RV; **j** (5405), internal mould; **k.** (5394) external mould. **l.** latex cast of 5394. **m-n.** paratype 5458a-b; **m.** (5458a) RV auricles of external mould. (All bars = 5mm); **n.** (5458b) right view of internal mould of articulated pair. **o-q.** paratype 5301b, commarginal frills (c) and antimarginal microsculpture (a) in SEM micrographs of central region of external mould of RV (umbo to the left) (scale bars of **o** = 1mm, **p** = 300 μ m and **q** = 100 μ m).

Fig. 10. ?*Adamussium* cf. *A. alanbeui*. **a-b.** specimen 5354a-b; **a.** internal mould of articulated pair, right view; **b.** fragment of external mould of LV. **c-d.** latex mould of external mould of RV, **d.** detail of auricles of **c**, dotted line indicates dorsal margin (all bars = 5mm).

Fig. 11. *Limatula (Antarctolima) ferraziana*. **a-b,** holotype 5322/5324, LV; **a** (5324), external mould; **b** (5322), internal mould. **c-d,** paratype 5360a-b, LV; **c,** internal mould; **d,** fragment of external mould. **e-f,** paratype 5451/5309, RV; **e,** internal mould; **f,** latex cast of

external mould. **g**, paratype 5346, LV, latex cast. Arrows indicate “median structure” of the shells (all bars = 5mm).

Fig. 12. Miscellaneous. **a-d.** Serpulidae, **a-c.** specimen 5349c, **a.** two fragmented tubes, **b-c.** the same specimens magnified, showing the external ornamentation (scale bars = 5mm), **d.** specimen 5316, smooth aspect of the tube internally (scale bar = 500µm). **e-i.** Bryozoa, **e.** specimen 5318b, general aspect of a fragment (scale bar = 5mm), **f-g.** specimen 5349, **f.** general aspect of a fragment (scale bar = 1mm), **g.** the same specimen magnified (scale bar = 1mm), **h.** specimen 5352b, showing poorly preserved zooids (arrow) (scale bar = 300µm), **i.** specimen 5352a (scale bar = 500µm). **j-p.** Echinoidea, **j-n.** specimen 5328a, **j.** internal mould of interambulacrum (scale bar = 1mm), **k.** the same specimen magnified (scale bar = 300µm), showing the location of tubercles (t) and the adradial suture (s), **l.** external mould of a fragment of ambulacral plate (scale bar = 1mm), **m.** the same specimen magnified (scale bar = 300µm), **n.** miliary tubercule (scale bar = 300µm), **o-p.** specimen 5339, fragment of primary spine, **o.** external aspect (scale bar = 100µm), **p.** transverse section showing medulla (m), radiating (r) and cortex (c) layers (scale bar = 20µm).

Fig. 13. Occurrences and inferred dispersal patterns of brachiopods and bivalves genera studied in this work for the interval latest Late Cretaceous to Recent. **a.** Late Cretaceous, **b.** late Eocene, **c.** early Oligocene, **d.** early Miocene, **e.** Recent, **f.** dispersal routes suggested by fossil record of *Liothyrella*, *Neothyris*, *Adamussium* and *Limatula* genera in a general paleogeographical base; arrows represent dispersal routes for each taxon. Note dispersal of *Liothyrella* and *Limatula* after the opening of the Tasmanian Gateway, from the end of Late Cretaceous until early Oligocene, and dispersal of *Liothyrella*, *Adamussium* and *Limatula*

only after the opening of Drake Passage after early Oligocene (Fossil record according to Ihering 1907, Neall 1972, Buonaiuto 1977, Fleming 1978, Owen 1980, Bitner & Pisera 1984, Biernat *et al.* 1985, Beu & Dell 1989, Foster 1989, Beu & Maxwell 1990, Bitner 1997, Frassinetti 1998, Craig 2000, Bitner & Crame 2002, Jonkers 1998, 2003, this work. Maps modified from paleogeographical reconstructions gently provided by Dr. Lisa M. Gahagan, from University of Texas, Austin).

Table 1. Sedimentary facies of the Polonez Cove Formation at Vauréal Peak area.

Member	Code	Facies	Description	Interpretation	Fossils
	Sm	Sandstone, medium to very coarse, with sparse granules and pebbles, massive	Metre-scale lenticular beds, laterally discontinuous, composed of coarse massive sandstone containing granules and dispersed pebbles. Poor granular selection, medium to low roundness and subspherical grains with irregular surfaces. Overlaps Gmm and Gmc facies, corresponding to the final portion of ascendant grading.	Deceleration of high energy episodic flows originated from slumping, cohesive debris flows or even the action of bottom tractive currents	serpulid tubes, brachiopods, bivalves, bryozoans, echinoderm fragments
Low Head	Gmc	Massive, clast supported gravel, normally graded	Lenticular beds or with channelized base, of metre-scale thickness and lateral extension, composed of clast-supported massive gravel of gray color. Commonly the beds include erosive contact at the base and are somewhat normally graded, with the clasts un-oriented and varying from blocks to cobbles at the base grading to pebbles to granules toward the top. The clasts are of medium sphericity and varied roundness, with basaltic and rarely acid volcanic composition. The matrix is mostly of medium to coarse sand, with granule composition usually the same of the clasts.	Product of episodic sedimentation from uncohesive debris flows, occasionally reworking by traction currents	-
	Gmm	Massive, matrix supported gravel, normally graded	Discontinuous lenticular beds in outcrop scale, of metric thickness. Composed of matrix-supported massive gravel of gray color. Like the Gmc facies, Gmm is normally graded, characterized by larger clasts at the base (abundance of blocks to cobbles) and the minor ones toward the top (blocks to pebbles). The clast roundness and sphericity, as well clast and matrix lithology are the same as for Gmc facies.	Deposited by slumping or cohesive debris flows	-
Krakowiak Glacier	D	Diamictite	Black-gray diamictite, massive, with sandy to pebbly framework, which is composed predominantly of granitic and quartzitic pebbles (5-20mm), occasionally showing striated faces. Pebbles up to 5-50mm occur rarely. Interbedded lenses of coarse sandstone with 5-15mm pebbles occur locally.	Melt-out and glacial debris flows (according to Troedson & Smellie 2002)	-

Table 2. Dimensions in mm and character values of specimen of *Liothyrella* sp.

Specimen	Valve	Length	Thickness	Width	Elongation	Obesity
5465	D/V	27.3*	14.7	25	1.8	0.58

Table 3. Dimensions in mm and character values of representative specimens of *Neothyris* sp.

Specimen	Valve	Length	Thickness	Width	Elongation	Obesity
5462	V	19.2*	12*	18.2	1.6	0.65
5438i	D/V	-	11.9	18.5*	-	0.64

Table 4 Dimensions in mm and character values of representative specimens of *Adamussium auristriatum* sp. nov.

Specimen	Valve	Length	Height	Width	Elongation	Obesity	AOL	POL	AOL/ POL	AVH/ PVH
5301a	R	44	48	13*	0.91	3.69	10.1	10	1.01	1.16
5394	R	63.1	60.9	15	1.03	4.06	14.3	13.5	1.03	1.02
5457b	R/L	53.5	48.2	13	1.10	3.70	12.8	11.8	1.08	1.13

Table 5. Comparative features of *Adamussium colbecki colbecki*, *A. colbecki cockburnensis*, *A. alanbeui* and *A. auristriatum* sp. nov. (¹, according to Jonkers 2003; ², specimens from the Low Head Member of the Polonez Cove Formation at Vauréal Peak; -, not observable)

Features	<i>A. colbecki colbecki</i> ¹	<i>A. colbecki cockburnensis</i> ¹	<i>A. alanbeui</i> ¹	? <i>A. cf. alanbeui</i> ²	<i>A. auristriatum</i> sp. nov. ²
Size	Moderate (mean H = 70mm)	Moderate (mean H = 56 mm)	Small (mean H < 50mm)	Small (H = 42mm)	Moderate (mean M = 52)
Valves	Slightly opisthocline (AVH/PVH=0.96)	Opisthocline (AVH/PVH = 0.91)	Acline	-	Opisthocline (mean AVH/PVH = 1.10)
Convexity	Moderate	Weak	Weak	-	Moderate
Greater convexity	LV	LV	LV	-	Equal
Umbonal angle	Very wide (138°)	Wide (134°)	Narrow (110° – 120°)	Very narrow (105°)	Wide (130°)
Radial sculpture	20 broadly undulating with intercalated low plicae	15 broadly undulating with intercalated low plicae	No	No	10-15 main plicae with intercalated low plicae
Commarginal sculpture	Distinct lirae, with groups differently spaced	Lirae regularly and widely spaced	No	No	Lirae, weakly marked, regularly and widely spaced
Microsculpture	Wide to narrow antimarginal ridges	Narrow antimarginal ridges	Narrow antimarginal ridgelets	-	Narrow antimarginal ridgelets
Auricles symmetry	Highly symmetrical (AOL/POL = 1.02)	Highly asymmetrical (AOL/POL = 1.4)	Slightly asymmetrical (AOL/POL = 1.1-1.3)	-	Highly symmetrical (AOL/POL = 1.01-1.08)
Auricles sculpture	No	No	No	-	Anterior auricle with radial costae
Byssal notch	Very deep (arcuate or acute)	Deep	Very shallow	-	Very deep (acute)
Number of byssal teeth	Very variable (mean = 2.5)	-	-	-	6

Table 6. Dimensions in mm and character values of specimen of ?*Adamussium* cf. *A. alanbeui*.

Specimen	Valve	Length	Height	Width	Elongation	Obesity
5354b	R/L	34.3	42	0.77*	0.82	54.5

Table 7. Dimensions in mm and character values of representative specimens of *Limatula ferraziana* sp. nov.

Specimen	Valve	Length	Height	Width	Elongation	Obesity
5322	R	9.7	12.3	6.1*	0.78	1.9
5451	R	18.2	22	12.8*	0.82	1.7
5452	L	16.3*	21*	12.8*	0.77	1.6
5453	R	15.9	17.8	12*	0.89	1.4
5360	L	21.8*	25*	13*	0.87	1.9

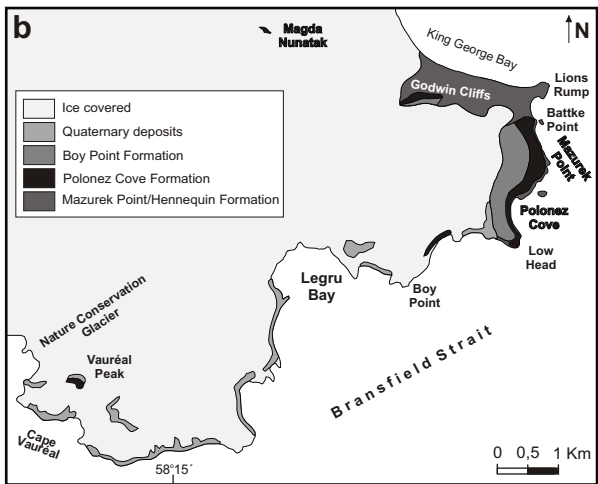
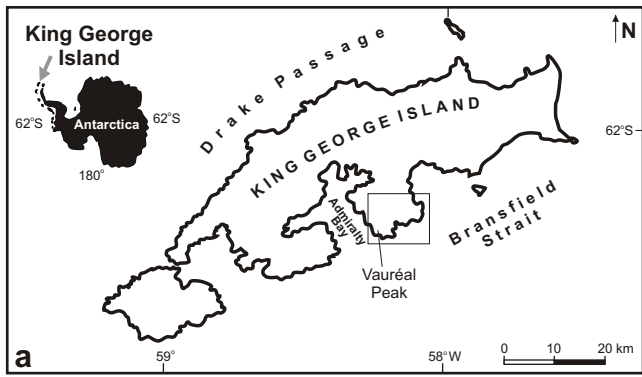


Figure 1

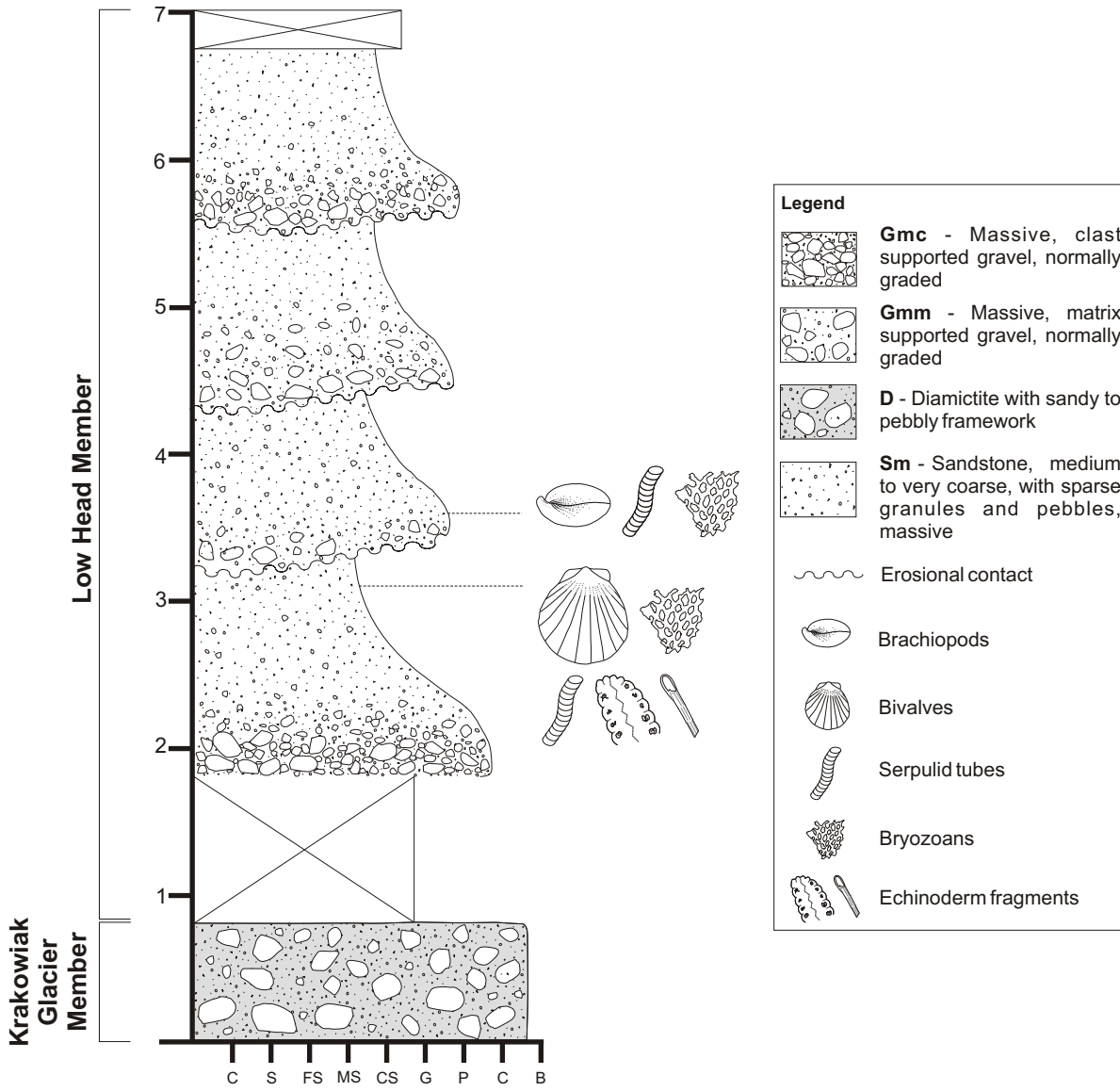


Figure 2

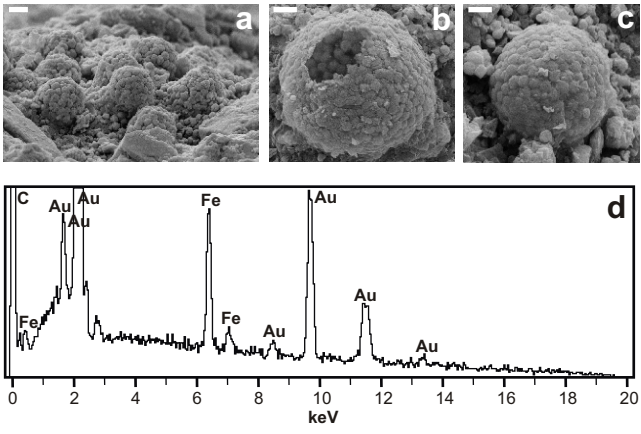


Figure 3

Period	Epoch	Formation	Member	Age
Paleogene	Oligocene	Boy Point		>23.6 ⁷
		Polonez Cove	Low Head	?
			Krakowiak Glacier	28.5 ⁶ 29.4 ⁵ 29.8 ⁴
	Eocene	Mazurek Point / Hennequin		?
				34.4 ³ 42.0 ²
Cretaceous	Late			74.0 ¹

Figure 4

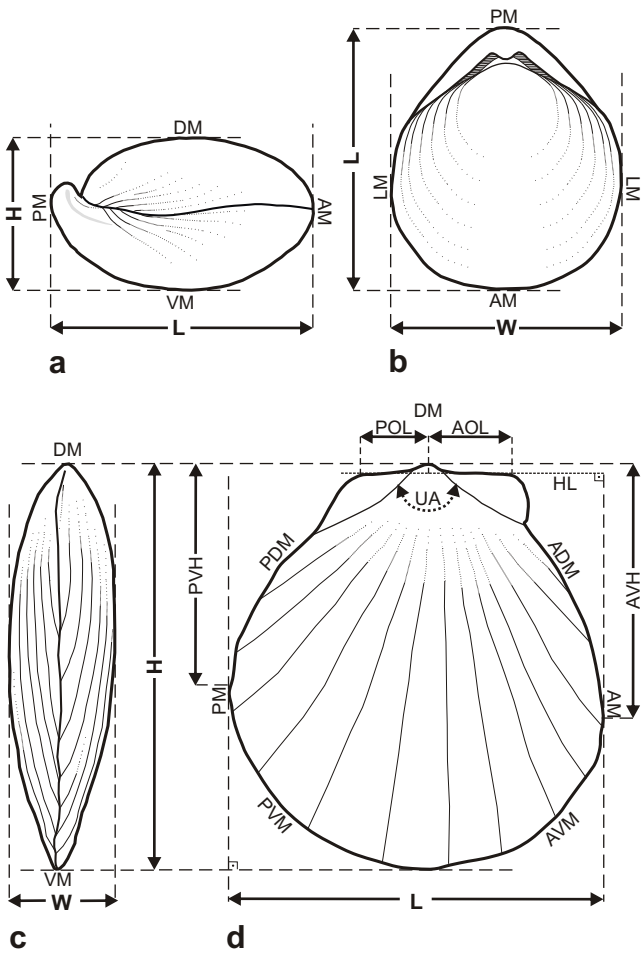


Figure 5

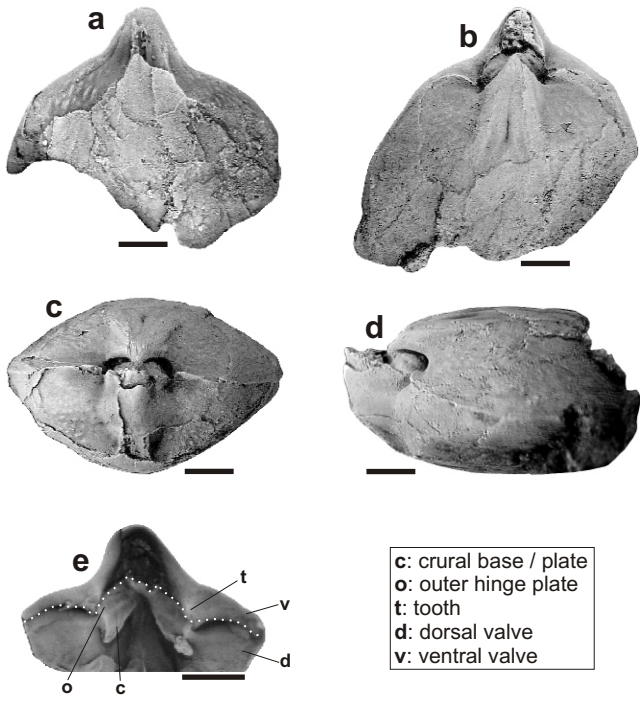


Figure 6

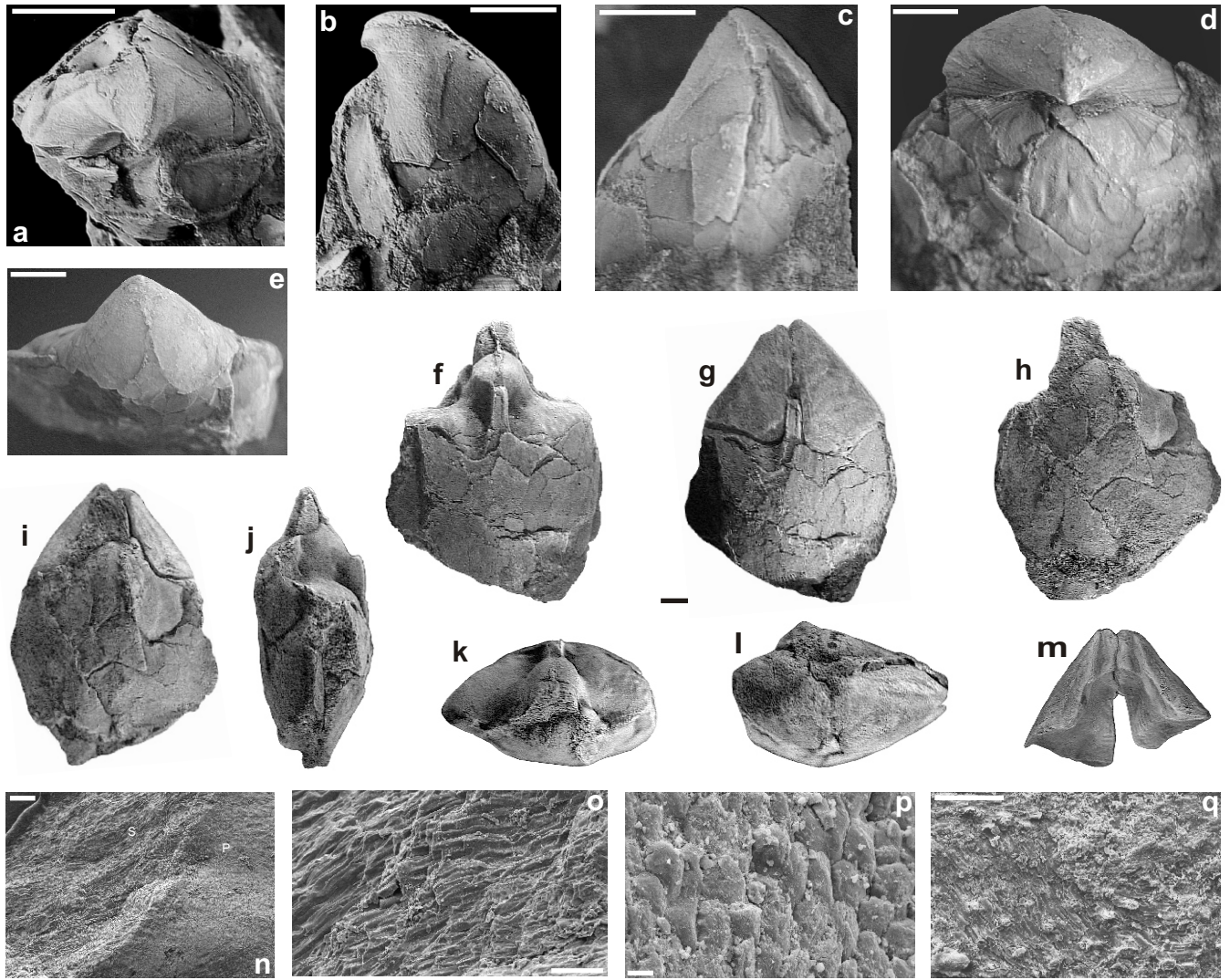


Figure 7

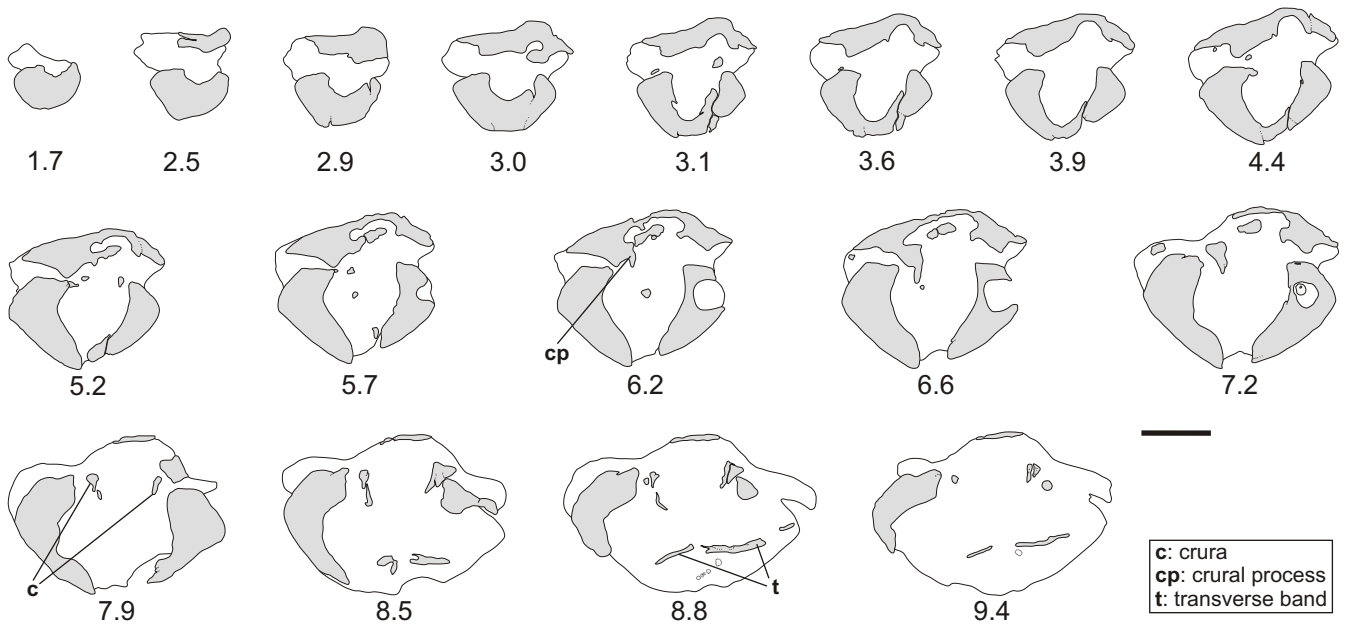


Figure 8

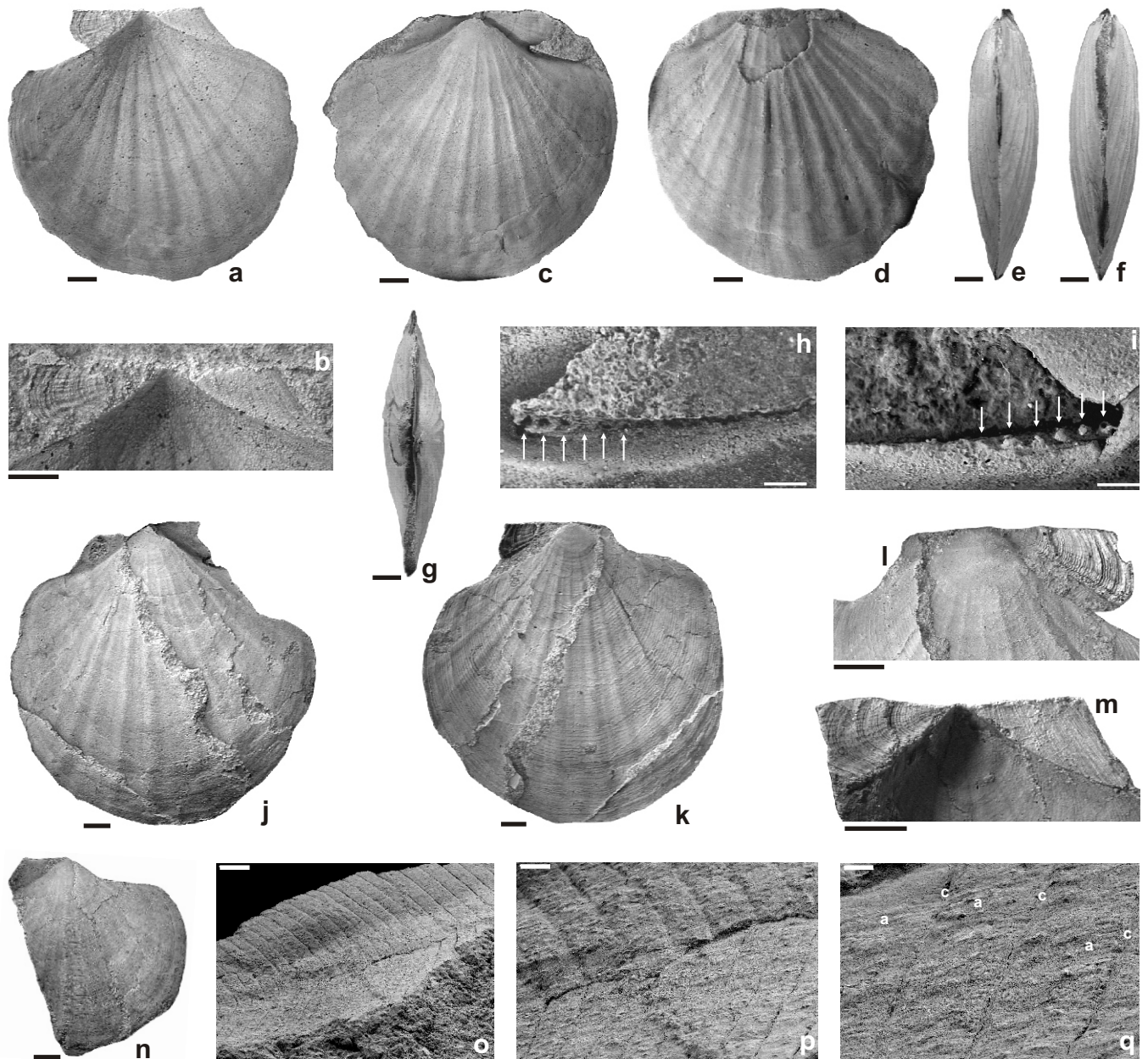


Figure 9

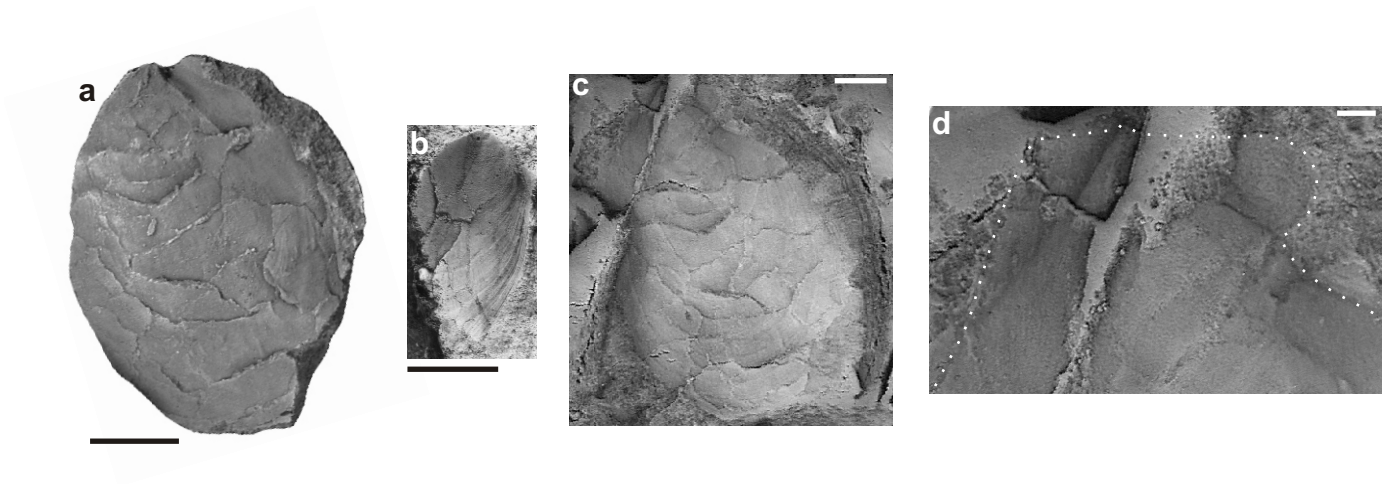


Figure 10

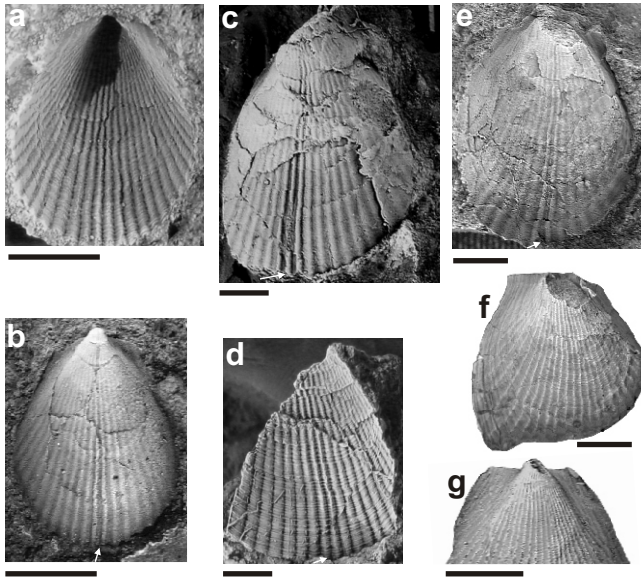


Figure 11

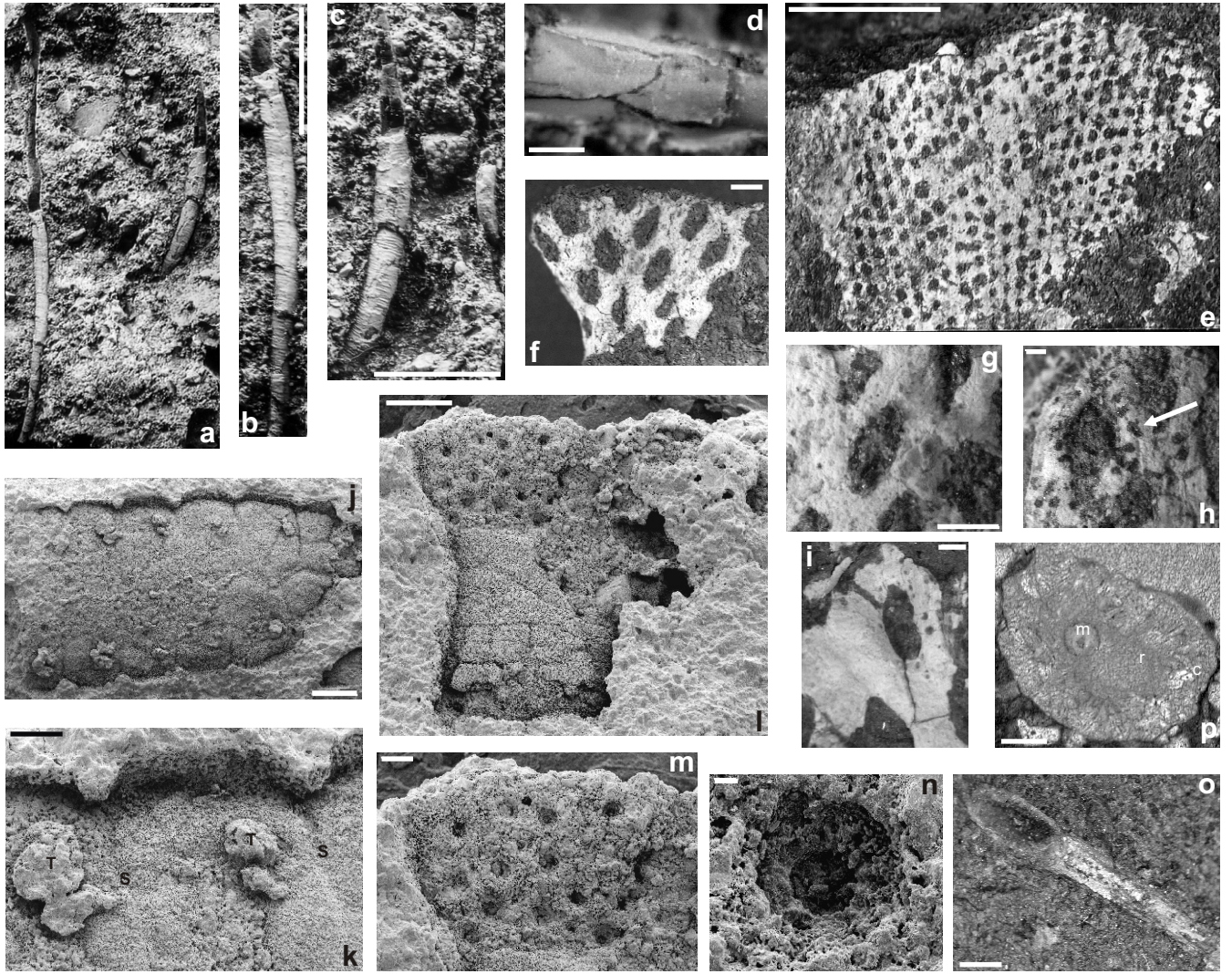


Figure 12

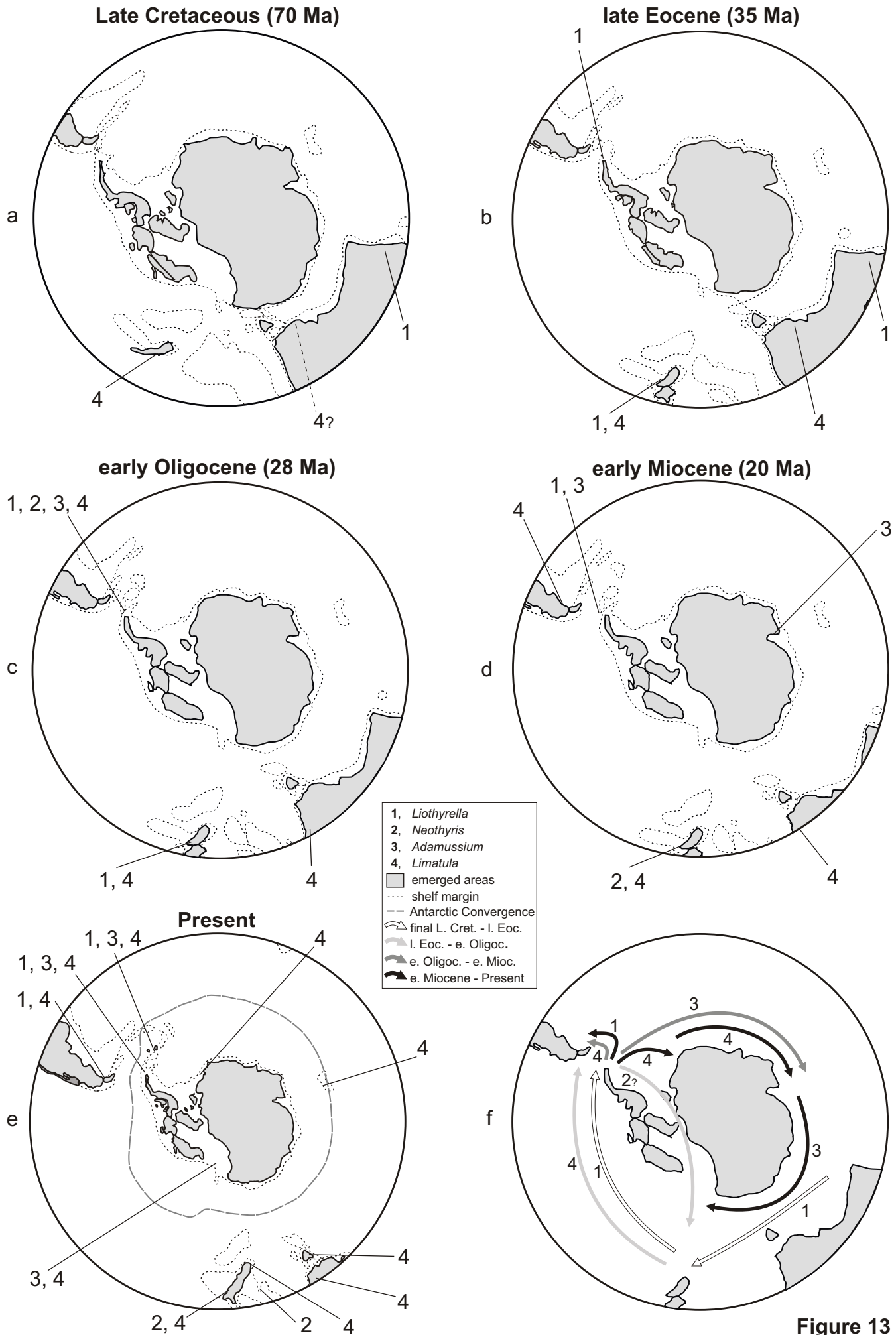


Figure 13