



Interpretação geomorfológica e evolução do ambiente de deglaciação da geleira Ecology, ilha Rei George, Antártica

KATIA K. ROSA¹, ROSEMARY VIEIRA^{1,2}, FRANCISCO J.F. ACUÑA³ e JEFFERSON C. SIMÕES¹

¹Centro Polar e Climático, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Av. Bento Gonçalves, 9500, 91501-970 Porto Alegre, Brazil

²Universidade Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, Brazil

³Departamento de Geografía, Universidad de Chile

ABSTRACT

This article presents of geomorphologic and sedimentologic interpretations of samples collected from Ecology Glacier proglacial area, King George Island, Antarctica. This study identifies different types of deposits found at the proglacial area of the glacier, thus building a geomorphologic map of this area and a model for the deglaciation evolution. Field and laboratory work analyzing sediments, photointerpretation of aerial photographs (2003) at the scale of 1:50,000, provided by the SHOA/SAF (*Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile*), and analysis of SPOT satellite images taken in different years. The glacier has a wet basal thermal regime, based on the large proportion of fine sediments, striated rocks and clast pavements, stoss and lee features and other types of subglacial deposits. The model of evolution for deglaciation if the glacier shows that the retreating rate has increased in the last decades, and it has been more intense on the northern part of the proglacial area than on the south. Two main phases may be recognized from the images: I – 1956-1979 (23 years) very low rate and II – 1988-2005 (17 years) high rate of retreat or stagnation. Each retreat phase left sedimentary and erosional features, such as frontal moraines, subglacial deposits and striations observed on rock blocks: these indicate a predominant 27°NE ice flow direction for the Ecology glacier. We believe it is possible to quantify the retreat by measuring distances between different positions of glacier margin.

Key words: Antarctic, King George Island, glacier Ecology, glacial sedimentation.

INTRODUÇÃO

A região da Península Antártica apresentou nos últimos 55 anos um aquecimento regional entre 2,5 a 3°C muito mais intenso do que outras regiões do planeta (IPCC, 2007). Segundo Turner et al. (2005), a temperatura superficial aumentou até +0,56°C por década no setor oeste da Península. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), as geleiras da Península Antár-

tica apresentaram rápida resposta ao aquecimento regional desse período. O derretimento da neve e do gelo contribui para a elevação do nível médio dos mares e para variações climáticas. Resultado dos processos de retração tem-se associado à formação de ambientes de deglaciação recentes, onde é possível perceber rápidas mudanças morfológicas na parte subaérea. A reconstrução da evolução do ambiente de deglaciação permite monitorar o recuo das geleiras que respondem às variações climáticas regionais.

A geleira Ecology, localizada na baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica (Fig. 1) sofreu

Correspondência para: Katia K. Rosa
E-mails: katiakellem@yahoo.com.br;
rosemary.vieira@ufrgs.com.br;
fferrand@uchile.cl; jefferson.simoes@ufrgs.br

grande retração ao longo das últimas 5 décadas (desde 1956), perdendo 1,35 km² de sua área. A maior retração ocorreu na parte norte, totalizando 480 metros de recuo, na parte sul foi de 380 metros (Kejna et al. 1998). Seu substrato é constituído por rochas sedimentares, metassedimentares, vulcânicas e de suítes intrusivas (Curl, 1980).

A deglaciação expôs várias geoformas e depósitos na área proglacial, tais como eskers, cordões morânicos e rochas estriadas relatados por Birkenmajer (2002), Vieira et al. (2006), Rosa (2006) e Rosa et al. (2007). Estudos geomorfológicos e sedimentológicos prévios foram realizados na zona proglacial da geleira Ecology e incluem principalmente os de Birkenmajer (1981, 1991, 1997, 1999, 2002) e de Bintanja, (1992), que abordam a retração da geleira Ecology nas últimas décadas. O estudo de depósitos sedimentares e geoformas erosivas nestas áreas são importantes, pois a investigação dos processos erosivos e deposicionais e o tipo de transporte aos quais foram submetidos estes sedimentos provêm informações sobre as condições termais, dinâmica passada e atual da geleira.

OBJETIVOS

Este estudo busca, por meio de análise geomorfológica e de sedimentologia glacial, construir um mapa geomorfológico da zona proglacial (Fig. 4), identificando os diferentes depósitos e feições erosivas com vistas à elaboração de um modelo da evolução do ambiente de deglaciação da geleira Ecology (Fig. 14), e inferir seu regime termo-basal, corroborando pesquisas anteriores realizadas na área. Esta proposta tem por base o importante papel dos processos de erosão e deposição glacial resultantes da variabilidade climática sobre as geoformas e os sedimentos.

As variações regionais do período de expansão do gelo e deglaciação podem fornecer informações importantes sobre os mecanismos de mudanças climáticas através da análise das feições geomorfológicas e dos sedimentos subglaciais existentes nas zonas de deglaciação subaéreas. Entender, portanto, as relações de grande-escala entre

clima, erosão e deposição glacial, a partir de registros sedimentares, é também vital para decifrar alterações climáticas.

ÁREA DE ESTUDO

A geleira Ecology (Fig. 2) é alimentada pelo campo de gelo Warszawa e flui para a baía do Almirantado. Atualmente ela possui base terrestre, ou seja, a maior parte de suas paredes de gelo está situada acima do nível do mar (Birkenmajer, 2002) e tem uma área de 5,55 km² (Arigony-Neto, 2001). A margem frontal da geleira, com aproximadamente 700 m de largura, termina em uma parede de gelo vertical de 20 m de altura, que desprende seu gelo sobre a laguna Ecology, a qual se comunica com a baía do Almirantado (Fig. 3). Na área de ablação há muitas fendas e água de degelo (Vieira et al. 2006).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos de campo foram realizados durante a Operação Antártica (OPERANTAR) XXVI, no verão de 2007/2008, ao longo da zona proglacial da geleira Ecology. Foram coletadas 20 amostras de sedimentos em perfis paralelos e transversais a geleira, abarcando diferentes micro-ambientes e feições geomórficas (Fig. 6).

Os sedimentos foram analisados no laboratório de sedimentologia do CECO (Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – UFRGS), para determinar sua distribuição granulométrica e características morfooscópicas.

A classificação textural dos sedimentos foi realizada segundo Shepard (1954) e o grau de selecionamento de acordo com Folk e Ward (1957). Na análise do grau de arredondamento foi utilizada a tabela de comparação de Krumbein (1941) e o grau de esfericidade medido pela tabela de Rittenhouse (1943). As análises das texturas superficiais foram feitas por meio da classificação de Bigarella (1946). Estes dados são representados em histogramas, com dados adicionais do índice RA (porcentagem de grãos angulosos) e grãos estriados.

Foram mensurados, de cada amostra, 50 clastos cuja razão dos eixos c/a é $a > 15$ mm, em

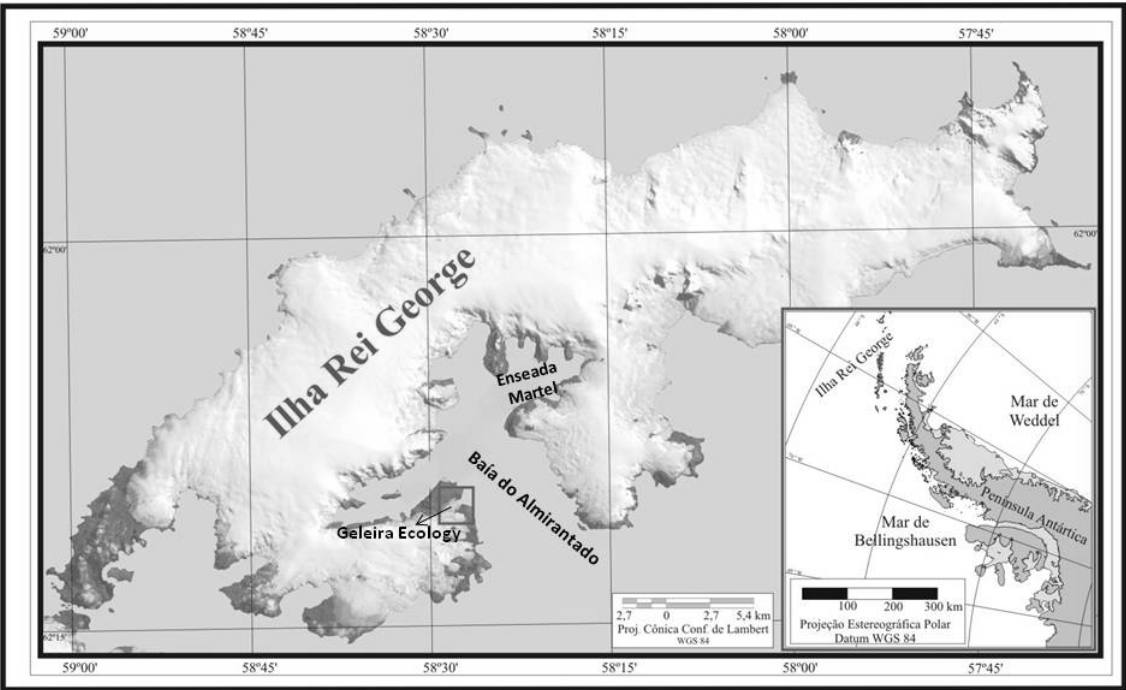


Fig. 1 –Localização da geleira Ecology.

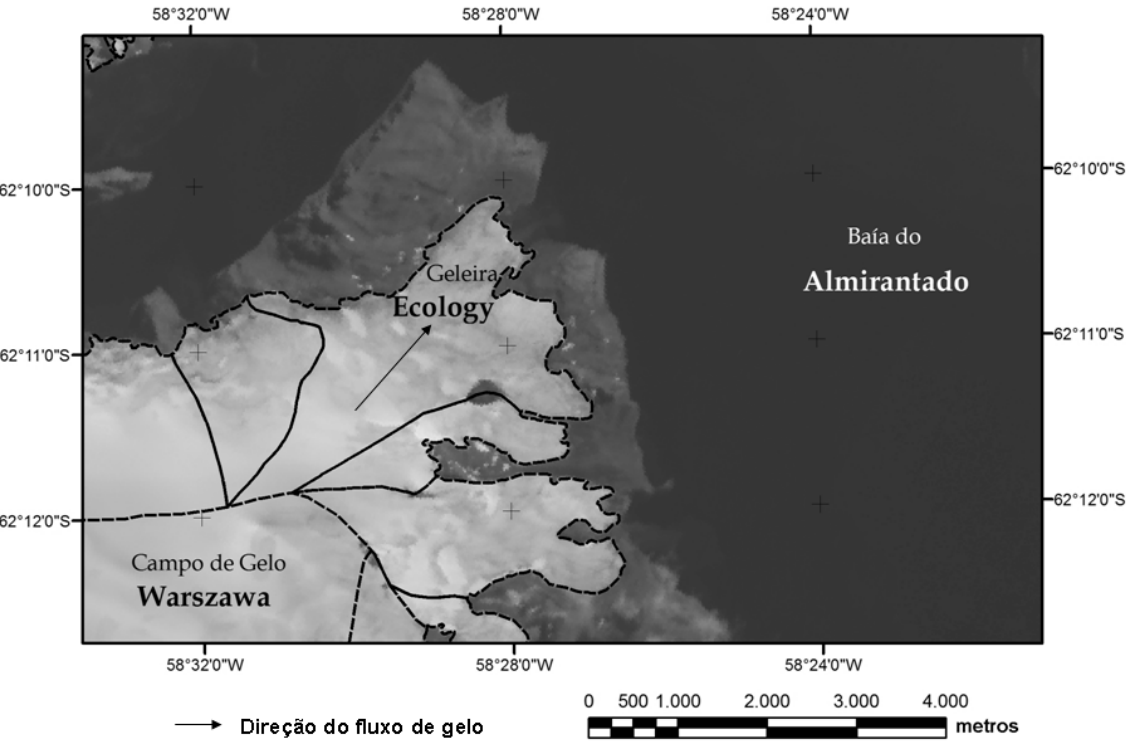


Fig. 2 – Localização da área de estudo.



Fig. 3 – Geleira e a laguna Ecology.

laboratório, com caliper. Os dados da forma dos clastos foram apresentados em diagramas triangulares, colocando os raios dos três eixos ortogonais da partícula: *a* (maior), *b* (intermediário), e *c* (menor). Adicionalmente, para reconstruir a história do transporte dos sedimentos glaciais, pelas das características dos clastos, foi utilizada a aproximação proposta por Benn e Ballantyne (1994), a qual é baseada na co-variância entre a forma e o arredondamento do clasto. O índice RA (% dos clastos angulosos) foi correlacionado com o índice C_{40} (% de clastos cujo eixo c/a é $<0,4$) na forma de gráficos de dispersão. Esse método permite distinguir os sedimentos transportados ativamente daqueles transportados passivamente na geleira, além de quantificá-los (Bennet et al. 1997). Assim, o método é útil para discriminar ambientes glaciais (Benn e Ballantyne, 1994).

Os dados de orientação das estrias, medidas em embasamento rochoso, foram representados em diagramas ROSE, no programa Roseta 2.0. Diagramas ROSE são histogramas circulares que resumem

a orientação do clasto em intervalos de 5° ou 10° (Hubbard e Glasser, 2005).

Baseando-se na interpretação de fotografias aéreas na escala 1:50.000 fornecidas pelo SHOA/SAF (*Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de La Armada de Chile/Servicio Aéreo Fotogramétrico*) e análises sedimentares, realizou-se o mapeamento da área proglacial, envolvendo identificação de feições geomorfológicas. Com fotografias aéreas e imagens de satélites SPOT de diferentes anos e o reconhecimento das posições das morainas de recessão, inferiu-se a extensão e posição atingida pela geleira em suas várias fases de recuo, construindo um modelo da deglaciação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O diagrama geomorfológico proposto para a zona proglacial da geleira Ecology (Fig. 4), configura um ambiente de deglaciação diversificado composto por feições posicionais e erosivas constituída por

depósitos morânicos, glaciofluviais e predominantemente subglaciais, tais como *eskers* e *tills* de alojamento.

DEPÓSITOS MORÂNICOS

Os depósitos morânicos expostos na área proglacial da geleira Ecology (amostra 1) corresponde ao cordão morânico elevado, de 27 m de altitude (Figs. 5a e 6), e (amostra 20) um conjunto de morainas látero-frontais localizado próximo à praia (Figs. 5b e 6). A amostra 20 possui muito baixo índice C_{40} (Fig. 7b), mostrado pelo diagrama ternário (Fig. 7b), sugerindo transporte ativo, com tendência para grãos mais esféricos. Já a amostra 4 (Fig. 7a), evidencia mistura de sedimentos originados de transporte ativo e passivo, pois há grãos com características intermediárias de arredondamento e esfericidade, indicada pelo alto índice C_{40} que sugere um maior alongamento da partícula. Clastos dos depósitos morânicos apresentam poucos sulcos, ranhuras e micro-estrias. Possuem variados graus de arredondamento, de subangulares a bem arredondados (Figs. 7c-f).

Pelas características granulométricas e morfológicas dos depósitos, além de suas formas e localizações, eles são interpretados como moraina lateral (amostra 4) e frontal (amostra 20). Essas feições possuem a crista morânica mais distal formada no limite exposto (acima do nível do mar) do avanço da geleira (Benn e Evans, 1998). As frontais são em geral arqueadas, refletindo a forma da margem frontal da geleira em uma posição anterior (Rocha-Campos e Santos, 2000).

DEPÓSITOS E GEOFORMAS SUBGLACIAIS

Os depósitos e geoformas originados por processos subglaciais predominam na zona proglacial desta geleira (Fig. 6). Os sedimentos destes depósitos apresentam baixo índice C_{40} , indicando um transporte ativo, o que também pode ser sugerido pelo diagrama triangular o qual mostra que a maioria dos grãos possui raio c/a maior que 0,4, sugerindo tendência para grãos mais esféricos (Fig. 10).

Os clastos mostram características morfológi-

cas típicas de transporte basal sofrendo efeito de abrasão, com arredondamento intermediário entre subangular e subarredondado, forma esférica, facetados, faces polidas e estriadas (Fig. 10) (Bennett e Glasser, 1996). As características destes depósitos apontam para um *till* de alojamento.

Tills de alojamento constituem corpos individuais pouco espessos (comumente < 3 m) e altamente compactados. Suas características mais típicas são a alta compactação e a existência de planos de foliação indicativos da ação cisalhante do gelo. Clastos em forma de “ferro de passar” ou de “bala” (*bullet-shaped*) são típicos (Eyles, 1992).

As amostras subglaciais, coletadas na zona proglacial da geleira Ecology, correspondem às amostras 1, 2 e 12. As amostras 1 e 2 estão na frente da geleira e são atingidas pela ação da maré e água de degelo (Figs. 8a e 8b). Os grãos do depósito de till de alojamento apresentam bordas arredondadas, grande parte facetados, com sulcos e micro-estrias. Estes blocos possuem lados assimétricos com alisamento na face à montante e fraturamento na face à jusante, são formados após o clasto ter se tornado alojado na base da geleira (Boulton, 1978; Krüger, 1979; Sharp, 1982).

A amostra 12 corresponde ao depósito localizado sobre rocha *moutonnée* (Fig. 9a), situada entre os arcos morânicos no lado norte da zona proglacial da geleira. Estrias na rocha têm orientação predominante 30°NE (Fig. 9b), indicando o sentido do fluxo de gelo. A presença de superfície estriada indica que a geleira move-se por deslizamento basal, com a presença de filme de água de degelo entre a base da geleira e o substrato. Dessa forma, seu regime termo-basal é temperado (Glasser e Hambrey, 2001), ou seja, com base úmida.

DEPÓSITOS GLACIOFLUVIAIS – *Eskers*

Os depósitos subglaciais glaciofluviais, chamados *eskers*, conforme podem ser observados na Figura 11, são paralelos ao fluxo da geleira e estão numa área recentemente deglaciada, refletindo a forma do canal de água de degelo que flui em direção à margem do gelo (Sugden e John, 1976; Benn e Evans,

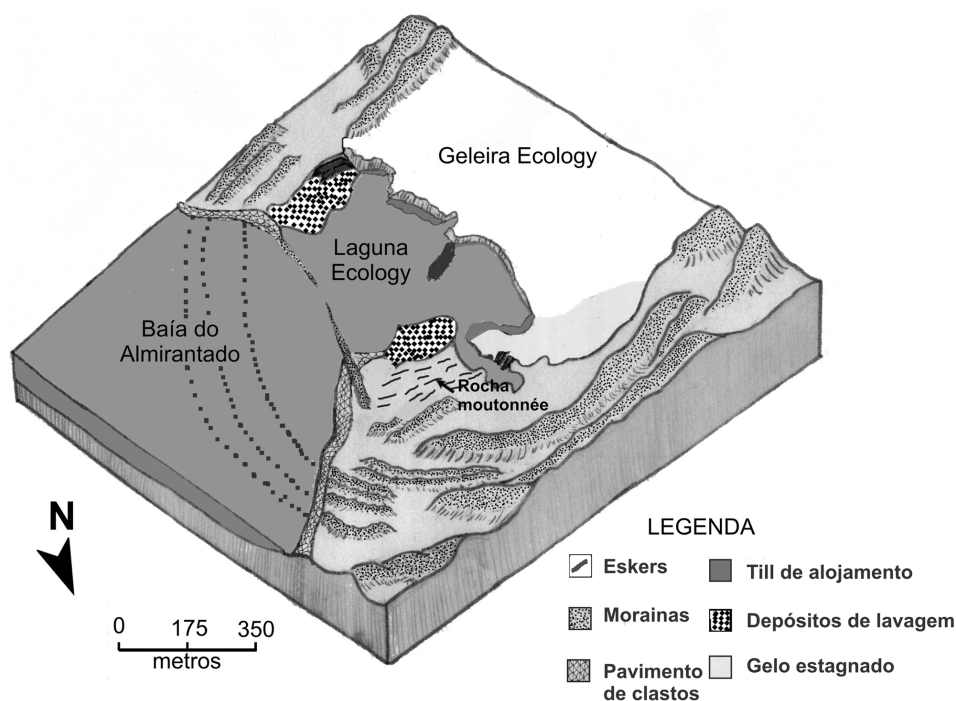


Fig. 4 – Diagrama geomorfológico da área proglacial da geleira Ecology (modificado de Rosa, 2006). A linha tracejada sobre a Baía do Almirantado ilustra a provável posição dos cordões morainicos de recessão submarinos.

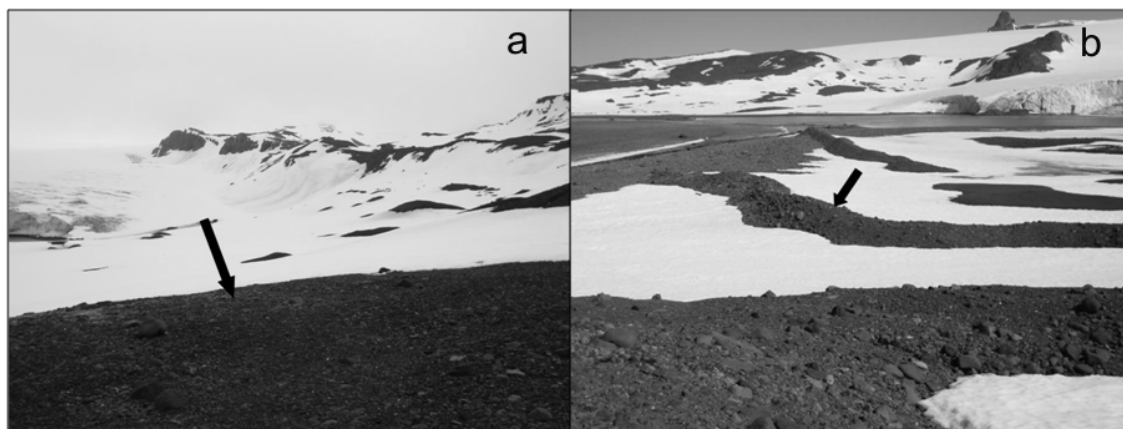


Fig. 5 – (a) e (b) Morainas latero-frontais (setas indicam depósitos).

1998). Predominantemente, as amostras possuem baixo índice C_{40} . Os resultados dos diagramas triangulares (Fig. 12), mostram que a maioria dos grãos possui raio c/a maior que 0,4, sugerindo transporte ativo com tendência para grãos mais esféricos.

Contudo, os diagramas triangulares (amostras 1, 11 e 17 – Fig. 12), mostram que os grãos possuem características intermediárias, indicando ima-

turidade textural desses sedimentos devido, provavelmente, a pouca distância de transporte, desde sua origem, até o sítio deposicional, causando pouco desgaste dos grãos. No caso da amostra 5 (Fig. 12), sugere-se ter ocorrido mistura de sedimentos de origens diversas, isto pode estar relacionada à proveniência de fluxo da água de degelo.

Pelo baixo índice RA (Fig. 13) conclui-se que

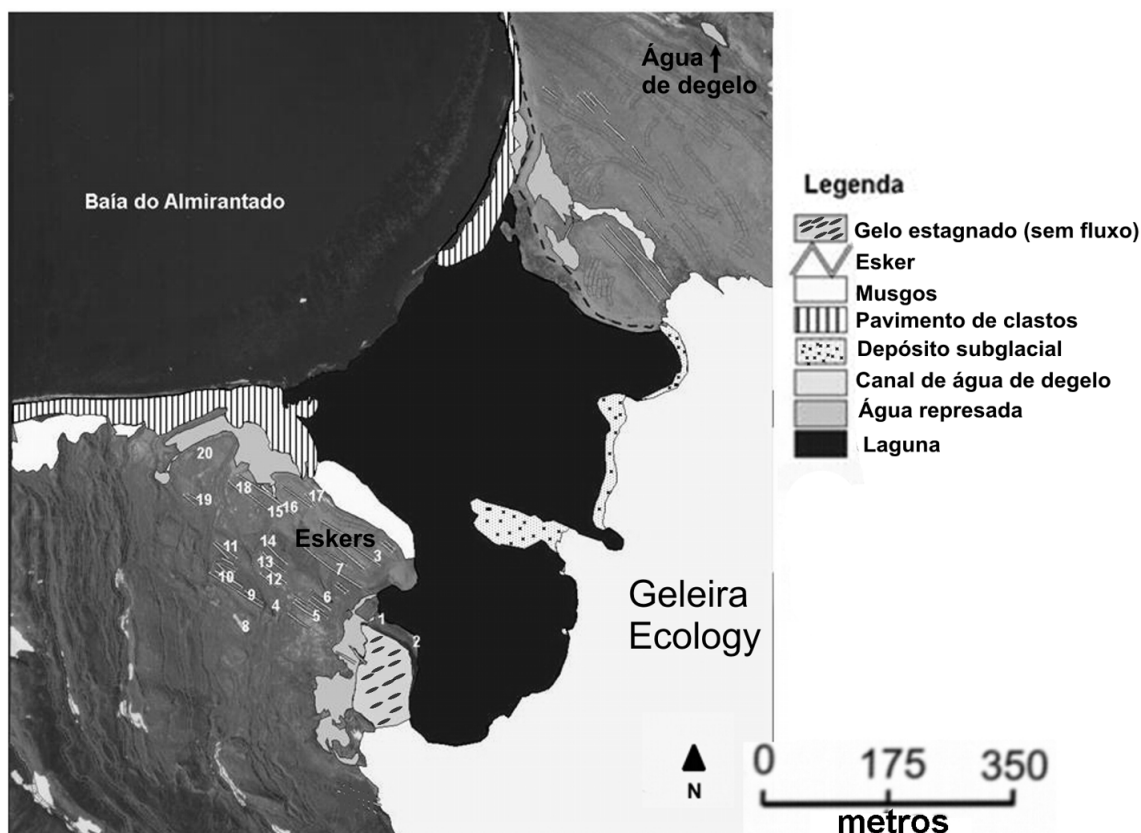


Fig. 6 – Localização da amostragem (representada por números de acordo com a amostra) na área proglacial da geleira Ecology.

nos 50 clastos examinados há um bom grau de arredondamento nos grãos, predominando subangular a subarredondado, típicos de transporte subglacial. Observou-se em campo a presença de blocos portando estrias, em várias amostras, com orientação de 30°NE, nas amostras 7, 13, 14 e 3, e 28°NE, nas amostras 8 e 9 (Fig. 12). Possuem distribuição dos grãos predominantemente de tamanho areia com má seleção dos grãos.

De acordo com essas características, os depósitos podem ser interpretados como *eskers* (cristas alongadas, lineares, arredondadas e sinuosas, ingremes e de extensão e tamanho variável (Bennett e Glasser, 1996)). Sua origem gera controvérsias na literatura. De acordo com Suguio (2003) estes depósitos são formados pelo preenchimento de canais de correntes de água, existentes na interface gelo-rocha, abaixo do gelo ainda ativo, por onde flui a água de degelo transportando sedimentos.

MODELO DE EVOLUÇÃO DO AMBIENTE DE DEGLACIAÇÃO DA GELEIRA ECOLOGY

A retração da geleira Ecology, documentadas pelas pelos depósitos morânicos, ocorreu em duas fases distintas; a partir do período estudado: I – 1956 a 1979 e II – 1988 a 1995 (Fig. 14), diferenciadas pela velocidade de recuo. Neste período não houve reavanços. De acordo com o mapa, em cada uma destas fases houve a exposição de depósitos e geoformas. Neste período a direção predominante do fluxo de gelo foi de 27°NE. A parte norte da área proglacial teve maior retração do que a sul, provavelmente devido ao seu afastamento de um ponto de apoio (*pinning-point*) enquanto era uma geleira de maré em um estágio anterior.

Em 1956 (Fig. 14a), a posição da geleira expôs pavimentos de clastos na área costeira (atribuída à exposição destes sedimentos à ação das marés) se a

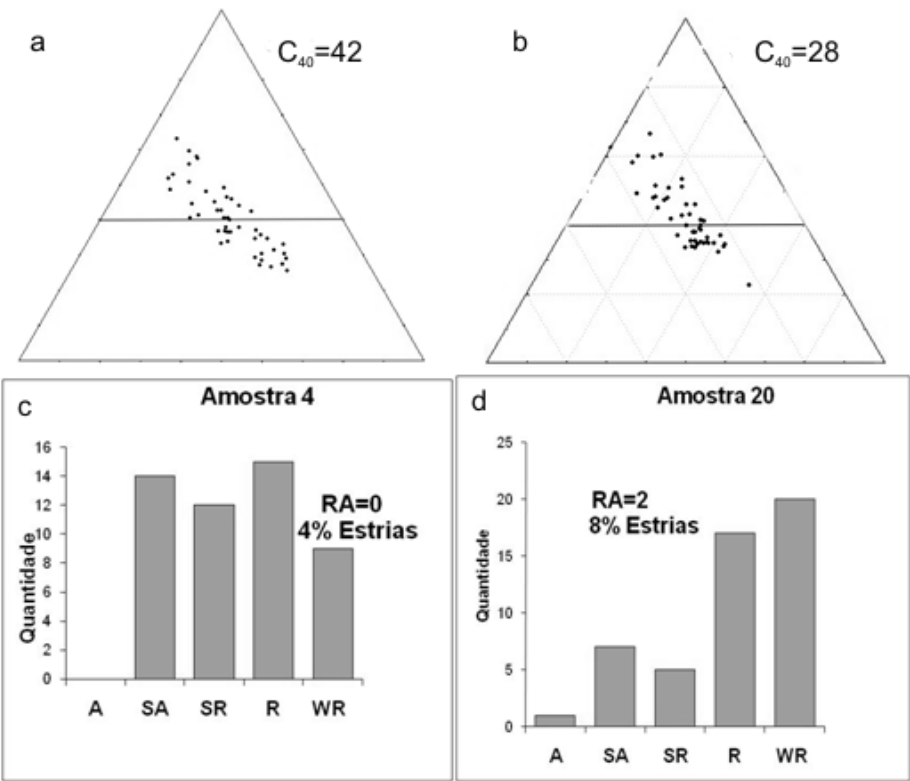


Fig. 7 – As Figuras 7a e 7b representam o diagrama ternário correspondente, respectivamente, às amostras 4 e 20. As Figuras 7c e 7d mostram, respectivamente, os graus de arredondamento e índices de RA. Siglas utilizadas: A para angular, SA subangular, SR subarredondado, R arredondado e WR muito arredondado.

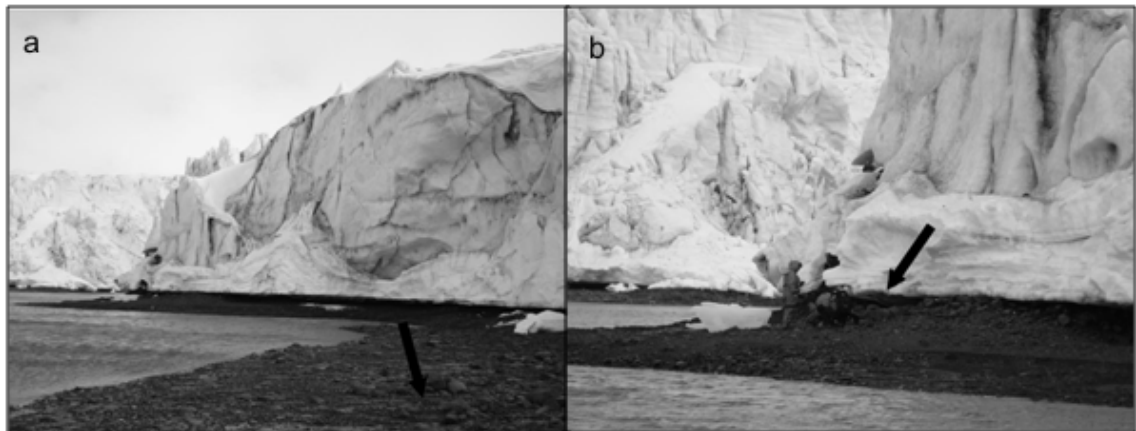


Fig. 8 – Fotos mostram a localização das amostras 1 (A) e 2 (B). As amostras encontram-se lavadas pela água de degelo e próximas aos depósitos de pavimento de clastos, estes se encontram em contato com a água da laguna e sob ação da maré.

moraina latero-frontal (amostra 20). Quando atinge a segunda fase (Fig. 14b), nos anos entorno de 1979, tem-se a exposição da moraina lateral formada no

estágio anterior. Na terceira fase, em 1988, onde o recuo foi maior, tem-se a exposição das amostras subglaciais 16, 18 e 19 (Fig. 14c). Na quarta fase

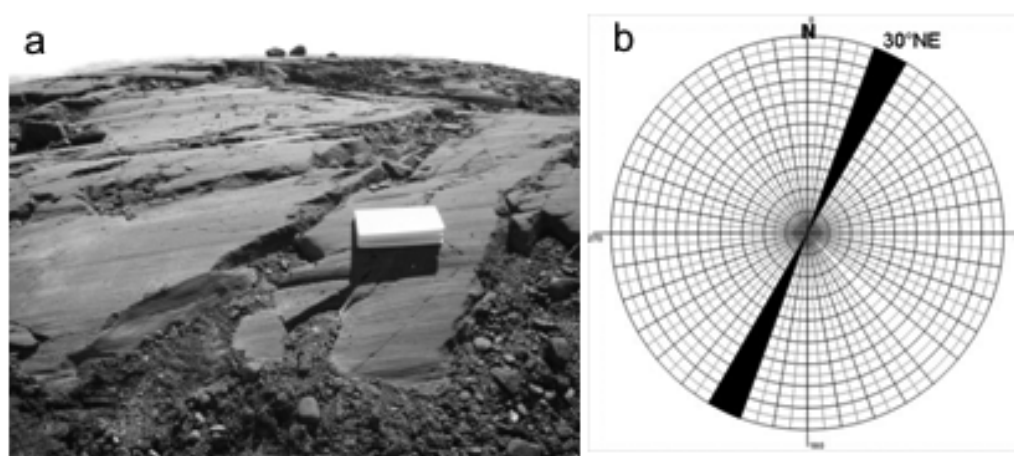


Fig. 9 – (a) Rocha *moutonnée* (sentido do fluxo para a direita) (b) – orientação das estrias sobre a mesma rocha.

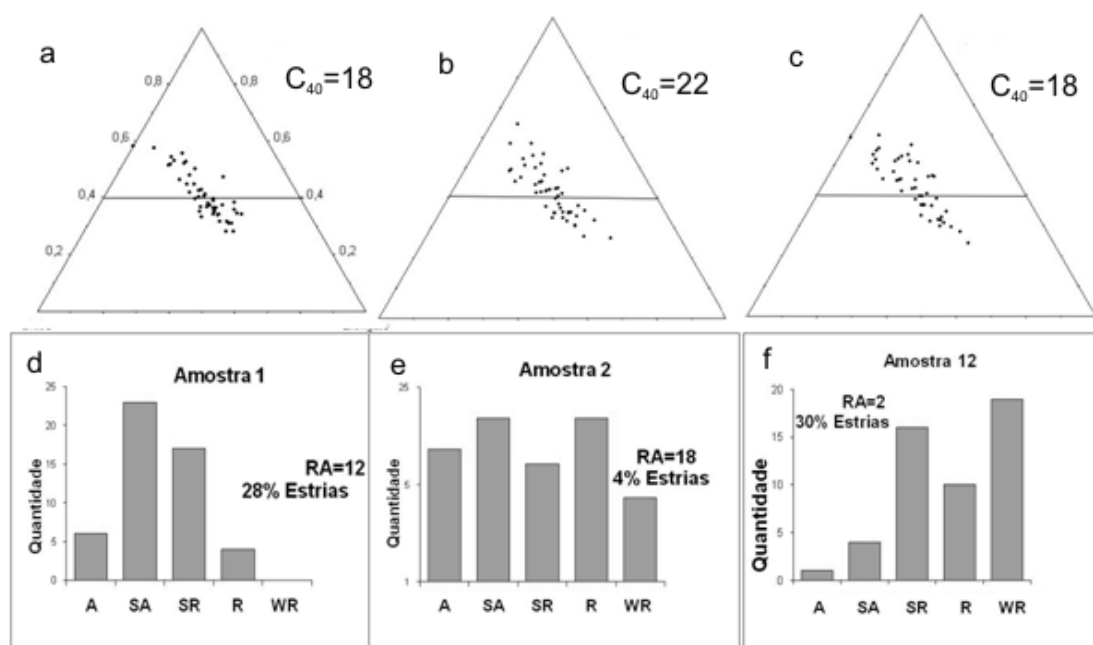


Fig. 10 – Figuras 10a-c mostram os diagramas ternários das amostras 1, 2 e 12 respectivamente. Os gráficos das Figuras 10d-f mostram os graus de arredondamento (de 50 grãos com eixo a >20 mm analisados de cada amostra) e índices RA das amostras 1, 2 e 12. As siglas singificam respectivamente: A – Angulares, AS – Subangulares, SR – subarredondados, R – arredondados e WR – muito arredondados.

(1995) (Fig. 14d) expõe-se a moraina latero-frontal da amostra 4 e amostras subglaciais e eskers 3-11, 15 e 16. Em 2000 (Fig. 14e) tem-se a exposição da moraina latero-frontal (amostra 4) e depósitos subglaciais e *eskers* (amostras 5, 6, 7, 12 e 13). Depósitos correspondentes as amostras 1 e 2 foram expostas na fase mais recente, após o ano 2000 (Fig. 14f).

CONCLUSÕES

A área de deglaciação da geleira Ecology mostra um processo contínuo, porém irregular, de ampliação desde 1956, sem evidencias aparentes de períodos de re-avanço. A maior taxa de retração da geleira ocorreu na parte norte da zona proglacial. Geofor-mas glaciofluviais e vertentes íngremes cobertas por



Fig. 11 – *Eskers* na área proglacial da geleira Ecology.

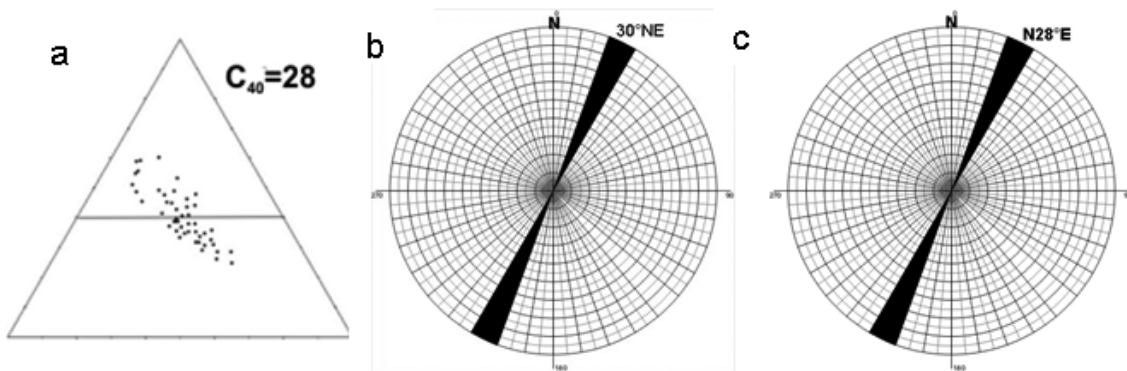


Fig. 12 – Diagrama triangular mostra os raios dos três eixos ortogonais das partículas e os índices C40 das amostras glaciofluviais. Ilustra a orientação de estrias das amostras glaciofluviais (Fig. a) 3, 8 e 9 (Fig. b).

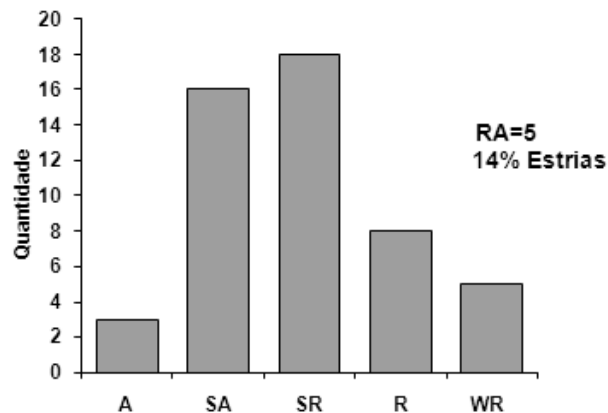


Fig. 13 – Gráfico mostrando grau de arredondamento de 50 grãos analisados das amostras de *eskers* com eixo a >20mm.

detritos são encontradas distribuídas por toda a área de deglaciação, indicando que os processos que controlam a paisagem não estão somente diretamente

relacionados à ação da geleira, mas também aos processos subglaciais e de água de fusão. Duas fases de retração são reconhecidas de acordo com

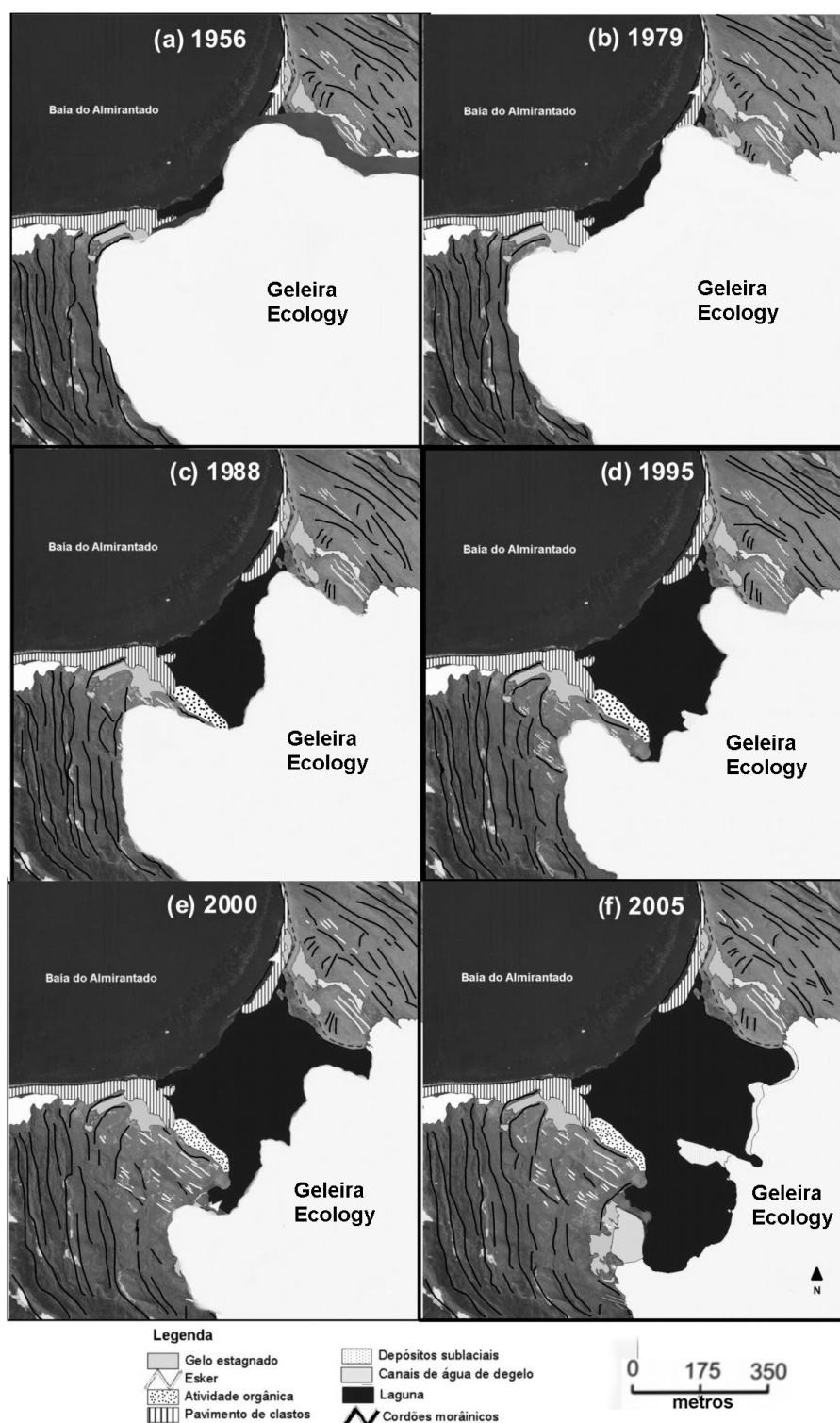


Fig. 14 – Reconstrução do ambiente de deglaciação da geleira Ecology segundo fases de retração registradas pelos cordões morânicos. Os *eskers* são representados por linhas de cor branca. A atividade orgânica indica presença de prováveis líquens e musgos. A localização das amostras está indicada por números.

as diferenças na velocidade de recuo desde a década de 1950. Cada fase de retração exibiu registros sedimentares, tais como morainas frontais e laterais, depósitos subglaciais e estriações observadas em blocos rochosos e no substrato, os quais indicam a orientação predominante de fluxo para a geleira Ecology para 27°NE. Morainas frontais de recessão indicam pontos de estabilização da geleira durante este período.

Os sedimentos preservados sofreram tanto transporte ativo como passivo ou misto. No ambiente de deglaciação estão expostos sedimentos erodidos e transportados subglacialmente, com a presença de água de degelo. A abundante quantidade de sedimentos finos nos depósitos evidencia presença de água na base da geleira. Desta forma, a geleira possui regime termal basal úmido resultando em uma grande proporção de sedimentos finos, rochas estriadas, e feições de *stoss and lee*.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) do Brasil, com recursos do projeto n° 52.0190/06-8. Rosemary Vieira agradece ao CNPq pela sua bolsa de pós-doutorado.

RESUMO

Este artigo apresenta interpretações geomorfológicas e sedimentológicas de materiais coletados na zona proglacial da geleira Ecology, ilha Rei George, Antártica. O estudo identifica diferentes tipos de depósitos encontrados na zona subaérea da geleira, construindo, assim, um mapa geomorfológico dessa zona e um modelo da evolução para a deglaciação. Os dados para a elaboração de mapas geomorfológicos e da evolução do ambiente de deglaciação foram obtidos mediante coleta e análise sedimentar, fotointerpretação de fotografias aéreas (2003) na escala de 1:50.000, fornecidas pelo SHOA/SAF (*Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile*) e análise de imagens de satélites SPOT, tomadas em diferentes anos. A geleira Ecology tem regime termal basal úmido, baseado na ocorrência de proporção de sedimentos finos, rochas estriadas, pavimento de clastos, feições “*stoss and lee*” e depósitos subglaciais. O modelo de evolução para

a área de deglaciação dessa geleira mostra que a taxa de retração aumentou nas últimas 5 décadas, tendo sido mais intensa na parte norte da zona proglacial do que na parte sul. Duas fases de retração são reconhecidas de acordo com as diferenças na velocidade de recuo desde a década de 1950. Cada fase de retração deixou registros sedimentares, tais como morainas frontais e laterais, depósitos subglaciais e estriações observadas em blocos rochosos, os quais indicam a orientação predominante de fluxo de gelo de 27°NE para a geleira Ecology.

Palavras-chave: Antártica, ilha George, geleira Ecology, sedimentação glacial.

REFERÊNCIAS

- ARIGONY-NETO J. 2001. Determinação e interpretação de características glaciológicas e geográficas com sistema de informações geográficas na Área Antártica Especialmente Gerenciada baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado. 84 p.
- BENN DI E BALLANTYNE CK. 1994. Reconstructing the transport history of glaciogenic sediments – a new approach based on the covariance of clast form indices. *Sedimentary Geology*, 91(1-4): 215–227.
- BENN DI E EVANS DJA. 1998. *Glaciers & Glaciation*. Londres: Arnold, 734 p.
- BENNETT MR E GLASSER NF. 1996. *Glacial Geology – Ice Sheets and Landforms*. Inglaterra: John Wiley, 364 p.
- BENNETT MR, HAMBREY MJ E HUDDART D. 1997. Modification of clast shape in High-Arctic environments. *Journal of Sedimentary Research*, 67(3): 550–559.
- BIGARELLA JJ. 1946. Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. *Arquivos Biologia Tecnologia*, 1: 75–11.
- BIRKENMAJER K. 1981. Raise marine features and glacial history in the vicinity of H. Arctowski Station, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Quaternary Science Reviews*, 29(2): 109–117.
- BIRKENMAJER K. 1991. Tertiary glaciation in the South Shetland Islands, West Antarctica: evaluation of data. In: THOMSON MRA, CRAME JA E THOMSON JW. (Eds.). *Geological Evolution of Antarctica*. Cambridge: Cambridge University Press: 629–632.

- BIRKENMAJER K. 1997. Quaternary geology at Arc-towiski Station, King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, 110: 91–104.
- BIRKENMAJER K E ANDRZEJ M. 1999. Submarine glacial relief at Ezcurra Inlet, Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands), West Antarctica. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Earth Sciences*, 47(4): 193–205.
- BIRKENMAJER K. 2002. Retreat of Ecology Glacier, Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica), 1956–2001. *Bulletin of Polish Academy of Sciences: Earth Sciences*, 50 (1): 5–19.
- BINTANJA R. 1992. Glaciological and meteorological investigations on Ecology Glacier, King George Island, Antarctica (Summer 1990–1991). *Circumpolar Journal*, 7: 59–71.
- BOULTON GS. 1978. Boulder shapes and grain size distributions of debris as indicators of transport paths through a glacier and till genesis. *Sedimentology*, 25: 773–799.
- CURL J. 1980. Glacial History of South Shetlands Islands, Antarctic, Columbus, Institute of Polar Studies, 63(129): 1980.
- EYLES N E EYLES CH. 1992. Glacial depositional systems. In: WALKER RG E JAMES NP. (Eds.), *Facies and Models*. Canadian Geological Association, John's, Newfoundland, 73–100.
- FOLK RL E WARD WC. 1957. Petrol Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentology*, 3(27): 3–26.
- GLASSER NF E HAMBREY MJ. 2001. Styles of sedimentation beneath Svalbard valley glaciers under changing dynamic and thermal regimes. *Journal of the Geological Society, Londres* 158(4): 697–707.
- HUBBERD B E GLASSER N. 2005. *Field Techniques in Glaciology and Glacial Geomorphology*. Inglaterra: John Wiley, 400 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2007. *IPCC Fourth Assessment Report – Climate Change 2007*. Cambridge, 104p.
- KEJNA M, LÁSKA K E CAPUTA Z. 1998. Recession of the Ecology Glacier in the period 1961–1996. In: GLOWACKI B. (Eds). *Polish Polar Studies*. 25th International Polar Symposium, Warszawa, p. 121–128.
- KRÜGER J. 1979. Structures and textures in till indicating subglacial deposition. *Boreas*, 8: 323–340.
- KRUMBEIN WC. 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 11: 64–72.
- RITTENHOUSE G. 1943. A visual method of estimating two-dimensional sphericity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 13(2): 79–81.
- ROCHA-CAMPOS AC E SANTOS PR. 2000. *Ação geológica do gelo. Decifrando a Terra*. São Paulo: Editora USP, 558 p.
- ROSA KK. 2006. Características sedimentares da zona proglacial da geleira Ecology, ilha Rei George, Antártica. *Trabalho de Conclusão de Curso*. (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, UFRGS.
- ROSA KK, VIEIRA R E SIMÕES JC. 2007. Dinâmica glacial e características sedimentares resultantes na zona proglacial da geleira Ecology – baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica. São Paulo: *Revista Brasileira de Geomorfologia*, p. 51–60.
- SHARP M. 1982. Modification of clasts in lodgment tills by glacial erosion. *Journal of Glaciology*, 28: 475–481.
- SHEPARD FP. 1954. Petrol Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Research*, 24(3): 151–158.
- SUGDEN DE E JOHN BS. 1976. *Glaciers and Landscape*. Londres: Edward Arnold, 376 p.
- SUGUIO K. 2003. *Geologia sedimentar*. São Paulo: Edgard Blücher, 400 p.
- TURNER J, COLWELL SR, MARSHALL GJ, LACHLAN-COPE TA, CARLETON AM, JONES PD, LAGUN V, REID PA E IAGOVKINA S. 2005. Antarctic climate change during the last 50 years. *International Journal of Climatology*, 25: 279–294.
- VIEIRA R, ROSSATO MS, AQUINO FE E SIMÕES JC. 2006. Feições morfológicas associadas ao ambiente de deglaciação da geleira Ecology, ilha Rei George, Antártica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6(2): 51–60.