

## **Análise das mudanças ambientais da Geleira Viéville, Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica**

Kátia Kellem da ROSA<sup>1</sup>, Rueliton Zambon SARTORI<sup>2</sup>, Claudio Wilson MENDES JR.<sup>1</sup> & Jefferson Cardia SIMÕES<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Pesquisas Antárticas e Climáticas, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS. E-mail: katia.rosa@ufrgs.br, jefferson.simoes@ufrgs.br, geoclaudiomendes@gmail.com.

<sup>2</sup> Universidade Federal da Fronteira Sul. Av. Dom João Hoffman, 313, Erechim, RS. E-mail: rueliton@ambiente.eng.br.

Recebido em 01/07/2014. Aceito para publicação em 15/03/2015.  
Versão online publicada em 30/04/2015 ([www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br](http://www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br))

**Resumo** - Este artigo objetiva analisar as mudanças ambientais na Geleira Viéville, localizada na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica, com a utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e dados meteorológicos. Por meio de fotografias aéreas (1956 e 1979), imagens SPOT (1988, 1995 e 2000) e COSMO-SkyMed (2011) foram mapeadas as áreas em diferentes anos da geleira para auxiliar na reconstrução do padrão de retração. Os dados de retração demonstram que a área da geleira passou de 23,49 km<sup>2</sup> de área em 1956 para 19,01 km<sup>2</sup> em 2011, sem avanço frontal neste período. Com base no Modelo Digital de Terreno (MDT) foram derivados mapas de hipsometria, declividade, aspecto e sombreamento. Técnicas de processamento digital de imagens demonstraram o padrão de dispersão espacial da turbidez na água no ambiente glaciomarinho (na parte frontal da geleira). Estes resultados indicam que o aporte de sedimentos e fluxo da água de degelo está relacionado com o processo de retração da geleira por fusão subglacial em condições de regime termo-basal úmido.

**Palavras-chave:** Sistema de Informações Geográficas, retração glacial, mudanças ambientais.

**Abstract** - ENVIRONMENTAL CHANGES ANALYSIS OF THE VIÉVILLE GLACIER, ADMIRALTY BAY, KING GEORGE ISLAND, ANTARCTICA. This paper aims to investigate environmental changes in Viéville Glacier, located in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica, with the use of the Geography Information System (GIS) and meteorological data. Aerial photographs (1956 and 1979), SPOT (1988, 1995 e 2000) and COSMO-SkyMed (2011) images were used to mapping and generate data of the glacial areas to provide the glacial pattern of retreat reconstruction. The retreat data demonstrated that the Viéville Glacier had 23.49 km<sup>2</sup> in area in 1956 and changed for 19.01 km<sup>2</sup> in 2011 without glacial front advance in the studied period. The Digital Terrain Model (DTM) was used for generated hypsometric, slope, aspect and hillshade maps. Image digital processing results demonstrated the spatial dispersion pattern of the water plume zones in glaciomarine environment (in front section of the glacier). These results indicated that the sediment delivery and meltwater flow are related with glacial retreat process through of the subglacial melt with wet-based subglacial conditions.

**Keywords:** Geographic Information System, glacial retreat, environmental changes.

### **1 Introdução**

A utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto e o Processamento Digital de Imagens tem apresentado resultados satisfatórios em termos de acurácia e no entendimento da evolução da retração de geleiras, direção e velocidade de fluxo do gelo, mudanças temporais na dinâmica de degelo superficial e padrão de dispersão de sedimentos no ambiente glaciomarinho.

A velocidade de fluxo de uma geleira está re-

lacionada com o balanço de massa, deformações internas e com o regime termal basal (Menziés, 1995). A relação do balanço de massa da geleira pode ser influenciada por diversos fatores, como variações na temperatura, precipitação e modificações na interface gelo-rocha.

Quando ocorre fusão supraglacial ou fusão subglacial em uma geleira pode haver a formação de canais subglaciais de água doce na zona subglacial. Este aporte de água de degelo possui capacidade de transporte sedimentar do material produ-

zido pela abrasão de uma geleira. Ao longo da parte frontal de uma geleira de descarga há o processo de liberação dos sedimentos e água de degelo formando uma pluma de sedimentos. O transporte de sedimentos por uma rede de drenagem subglacial é considerado como a forma dominante de descarga sedimentar na maioria das geleiras temperadas em ambientes glaciomarinhas (Menziés, 1995). A carga de sedimentos em suspensão da água oriunda do degelo é um indicador de fusão subglacial e processos erosivos glaciais como a abrasão. Este processo pode produzir sedimentos de uma granulometria fina como silte e argila (Syvtiski, 1989).

O fluxo de sedimentos em fiordes de zonas temperadas é controlado pela descarga de água de fusão e de desprendimento de gelo (Syvtiski, 1989). A fusão das geleiras de marés, a partir de jatos englaciais e subglaciais nos seus términos, forma as plumas de sedimentos em suspensão, as quais se misturam com a água (Syvtiski, 1989). A formação das plumas de sedimentos em suspensão na frente das geleiras possui uma variabilidade de acordo com as diferenças de descargas e os processos glaciomarinhas que podem causar a mistura da coluna de água (Powell, 1990).

A Baía do Almirantado, escolhida como área de estudo, se encontra em uma área considerada importante para tais investigações, pois nela podem-se estabelecer relações entre a sedimentação glaciomarinha atual e processos controlados pelas condições glaciológicas.

Turner et al. (2009), Blindow et al. (2010) e IPCC (2013) apontam um aquecimento regional (3°C) na Península Antártica nas últimas décadas, sendo a lha Rei George, por exemplo, umas das regiões mais sensíveis às variações climáticas. Os dados de retração evidenciados corroboram com estudos anteriores de (Bremer, 1998; Simões et al., 1999; Arigony-Neto, 2001; Braun & Goßmann, 2002; Rosa, 2012). Sendo que essas retrações têm sido ligadas diretamente ao aquecimento regional na Península Antártica nas últimas décadas.

Neste trabalho objetiva-se investigar se está ocorrendo retração glacial e alteração na dinâmica sedimentar proximal glaciomarinha na Geleira Viéville. Também serão verificadas evidências de alterações em fatores que possam estar relacionados às mudanças detectadas.

A geleira Viéville, localizada na Baía do Almirantado, pode ser sensível às mudanças climáticas evidenciadas para a área de estudo. Assim, é relevante a realização do monitoramento dos efeitos das mudanças ambientais nas geleiras localizadas nessa região polar, assim como para investigar como estas influenciam nos processos de sedi-

mentação glacial na área de estudo.

O monitoramento do aporte de água de degelo e sedimentos liberado pelas geleiras é relevante para o estudo das mudanças na dinâmica glacial, do transporte de sedimentos e ainda para a formação de geoformas glaciais (Jansson et al., 2003).

## 2 Área, materiais e métodos

### 2.1 Área

A Geleira Viéville, geleira de maré com uma área total de 19,01 km<sup>2</sup> (com base cartográfica de 2011), localiza-se no setor norte da Baía do Almirantado, na Ilha Rei George, Shetlands do Sul (61 54' - 62 16'S e 57 35' - 59 02'W), Antártica (Fig. 1).

Na Ilha Rei George, geleiras de maré ou de descarga são geralmente confinadas em fiordes, sendo a produção de água de degelo e o transporte de sedimentos em suspensão na água importantes componentes do ambiente glaciomarinha da região (Anderson & Molnia, 1989). As geleiras de maré na área de estudo possuem gradiente superficial acentuado, fluxo relativamente rápido e muitas fendas.

O embasamento das Shetlands do Sul constitui-se de rochas formadas desde o Pré-Cambriano até o Eoceno a Mioceno, sendo formado por rochas sedimentares, metassedimentares, vulcânicas e de suítes intrusivas. A litoestratigrafia do arquipélago se constitui de sedimentos do Paleozoico Superior, eventualmente metamorfizados em função dos processos vulcânicos (Jurássico ao Paleoceno) e de intrusões plutônicas (Cretáceo Superior ao Paleoceno) (Curl, 1980).

O clima é caracterizado por passagens de sistemas ciclônicos, oriundos do setor Sudeste do Oceano Pacífico. Com isto o ar transportado para este local é relativamente quente e úmido (Aquino, 1999). Devido à sua localização, as Shetlands do Sul possuem clima tipicamente subpolar marítimo (Setzer & Hungria, 1994). A temperatura média do verão atinge 2°C, resultando em uma produção de água de degelo durante essa estação (Braun, 2001).

Estudos geomorfológicos na Ilha Rei George indicam que a região teve uma complexa história de deglaciação (John & Sudgen, 1971). Os registros de erosão glacial em ambiente subaéreo em algumas áreas da ilha mostram três distintas fases de glaciação desde o Último Máximo Glacial - UMG (Seong et al., 2006). A extensão máxima da calota de gelo na glaciação do Pleistoceno Superior ocorreu, aproximadamente, entre 20.000 e 18.000 anos AP (Birkenmajer, 1981) e as formas erosivas

refletem esse período quando a espessura do gelo atingiu aproximadamente 1.000 m.

Entre 9.000 – 5.000 AP houve uma deglaciação (Mäusbacher *et al.*, 1989). Em torno 7.000 - 8.000 AP ocorreu o optimum climático do Holoceno (Domack *et al.*, 2001). Estudos sugerem um novo optimum climático em 4.000 – 2.700 AP (Yoon *et al.*, 2000) precedido por um avanço glacial entorno de 6.200 – 4.000 AP nas Shetlands do Sul (Yoon *et al.*, 2000). Extensas áreas de gelo cobriam os fiordes na ilha Rei George há 4.400 – 3.000 anos (Yoon *et al.*, 2000).

A expansão mais recente da glaciação ocorreu durante a Pequena Idade do Gelo (1200–1800 DC) e deixou registrada morainas de avanço laterais (Birkemajer, 1981; Seong *et al.*, 2006).

O atual período interglacial tem tendência ao

aquecimento; no entanto esse aumento na temperatura atmosférica vem ocorrendo de forma muito rápida no último século na área de estudo. Esta região apresentou nas últimas décadas um aquecimento regional mais intenso, quando comparado a outras regiões do planeta (IPCC, 2007, 2013). Segundo Turner *et al.* (2005), ocorreu aumento desta temperatura de até +0,56°C por década no setor oeste da Península Antártica (na estação Faraday/Vernadsky, 65°15'S, 64°16'W) desde 1950. De acordo com Monaghan *et al.* (2008), a temperatura da região da Península Antártica aumentou 3°C desde 1950. Na Ilha Rei George a temperatura aumentou 1°C durante as últimas três décadas e o campo de gelo da Ilha é sensível às mudanças climáticas (Blindow *et al.*, 2010).

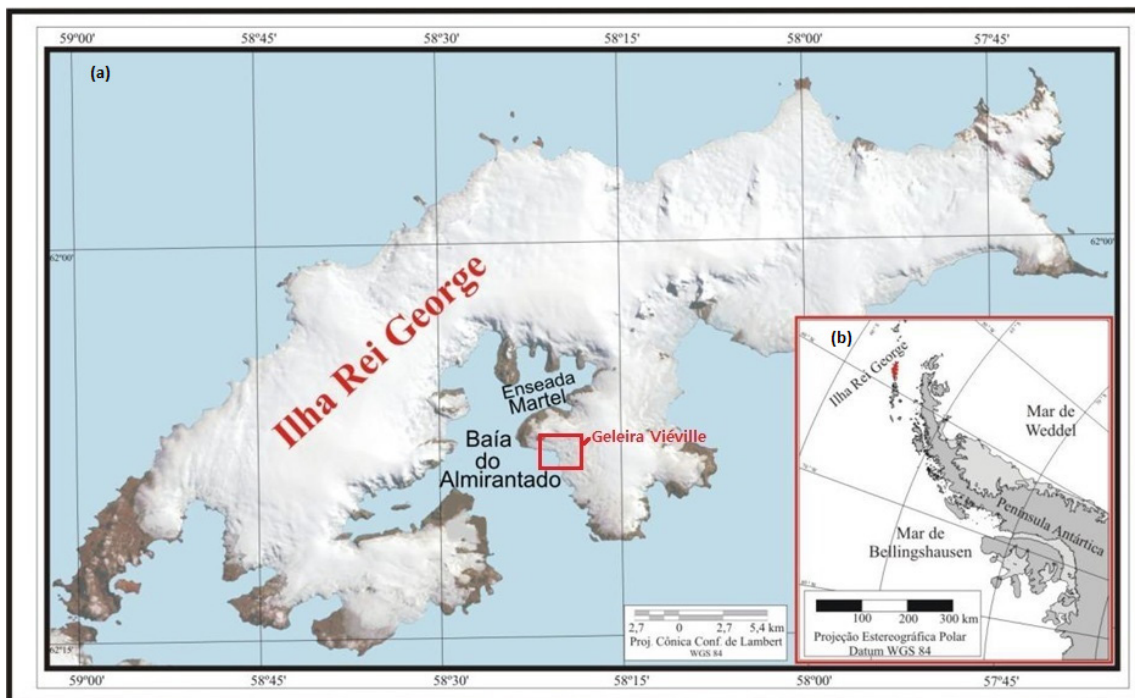


Figura 1. Localização da Geleira Viéville (a). O quadro menor localiza a Ilha Rei George na região ao norte da Península Antártica (b).

## 2.2 Materiais e métodos

A metodologia incluiu a utilização de imagens de satélite SPOT em 1988, 1995 e 2000 com resolução espacial de 20 m, um mosaico aerofotogramétrico (fotografias aéreas dos anos de 1956, 1979 e 2003, resolução 1 m, fornecida pela Estação Chilena Antártica no período de Fevereiro) e também imagens Cosmo-SkyMed adquiridas em fevereiro de 2011, as quais possuem resolução espacial de 1 m e foi obtida da Agência Espacial Europeia de colaboração científica com o Laboratório de Monitoramento da Criosfera da Universidade Federal de Rio Grande (FURG) (Tab. 1). Com estes

dados foram mapeados os limites da geleira nos diferentes anos (no período de 1956 a 2011).

Através do Software ArcGIS™ elaborou-se um mapa de retração da geleira (Fig. 2) para o período de 1956 a 2011. As tabelas 2 e 3 mostram estes valores em km<sup>2</sup>. Com base em um MDT (Modelo Digital de Terreno) foram derivados em um SIG (Sistema de Informações Geográficas) mapas hipsométricos, de declividade, de aspecto e de sombreamento. Os mapas foram utilizados para inferir sobre a dinâmica glacial. Para a confecção do Mapa de Aspecto, o MDT foi classificado em oito classes, sendo que cada classe foi definida pelo ângulo do azimute de orientação das vertentes, calculados

pelo 3D Analyst no Software ArcGis™. Na elaboração do Mapa de Sombreamento, o MDT foi classificado visando demonstrar onde há uma maior rugosidade superficial na geleira.

Foram analisados também dados anuais de temperatura média superficial do ar desde 1960, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) coletados na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), localizada Baía do Almirantado, Ilha Rei George. Estes dados foram tratados estatisticamente e plotados em gráficos para verificar as relações existentes com o padrão de retração da geleira no mesmo período. Os dados de temperaturas anuais no verão e no inverno foram plotados juntamente com a retração anual estimada (Fig. 3).

Tabela 1. Fonte dos dados utilizados para a determinação de variações na frente da geleira Viéville e para a geração de mapas morfométricos. CPC (Centro Polar e Climático), AEE (Agência Espacial Européia) SHOA (Servicio Hidrografico Oceanografico de la Armada de Chile).

Imagem	Data	Escala/ Resolução	Sistema de Coordenadas/ Datum	Fonte	Dados integrados ao SIG
MDE do setor norte da Baía do Almirantado	2003	1 m	UTM, WGS 84	Pelos autores	Geração de mapas morfométricos
Mosaico de imagens SPOT	02/23/ 2000	20 m	UTM, WGS 84	CPC	Posição das frentes de gelo e classificação da área com pluma de sedimentos no ambiente glaciomarinho proximal
Aerofotos	02/1956, 02/1979 02/2003	1:50000	UTM, WGS 84	SHOA	Geração de mosaico aerofotogramétrico para inferir a posição da frente de gelo
Quickbird	02/2006	0,6 m	UTM, WGS 84	CPC	Posição da frente de gelo
Cosmo-SkyMed	02/2011	1 m	UTM, WGS 84	AEE	Posição da frente de gelo

### 3 Resultados e discussões

A análise que relacionou os dados de retração da geleira com os dados meteorológicos do local no período (1956-2011) possibilitou verificar a relação da perda de área da geleira (Figs. 2 e 3) com a variabilidade da temperatura média superficial do ar ao longo das últimas décadas.

Verifica-se que nos períodos entre 1988-1995 e 2000-2011 houve uma intensificação na taxa de retração (0,143 km<sup>2</sup>/ano e 0,144 km<sup>2</sup>/ano por ano, respectivamente). Esta retração pode estar

Técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) foram adotadas para verificar a dispersão espacial da turbidez do ambiente glaciomarinho (na parte frontal da geleira-imagem 2000). Para obter o mapa de turbidez na zona frontal da geleira foi utilizada a técnica de segmentação da imagem definindo-se amostras por limites de semelhança entre os locais com agrupamento de pixels, e após este procedimento foi utilizado o algoritmo de classificação supervisionada Máxima Verossimilhança, conforme estudo de Blaschke & Kux (2007). Desta forma, foi possível verificar a intensidade dos processos de produção de sedimentos e fluxo da água de degelo relacionado ao processo de retração da geleira por fusão subglacial.

relacionada à tendência de picos na temperatura superficial média do ar registrados nos invernos destes intervalos. No ano de 1995 ocorreu uma diminuição na temperatura média do ar superficial anual no inverno na estação antártica Comandante Ferraz – EACF (62°05'S; 58°23,5'W), o que pode ter influenciado a diminuição da retração no período de 1995-2000 (0,092 km<sup>2</sup>/ano) (Setzer & Harter, 2004).

Comparando-se a perda de 20% (1979-2011) de área da Geleira Viéville com as geleiras vizinhas, como a Dragão, que perdeu 50% de sua

área (1979-2006) (Rosa *et al.*, 2014a), ou ainda com a Geleira Wanda, que perdeu 31% de sua área (1979-2011) (Rosa *et al.*, 2014b), pode-se inferir que, por sua maior dimensão (19 km<sup>2</sup>), a Geleira Viéville possui uma menor taxa de retração frontal na área de estudo.

Tabela 2. Variação da área da Geleira Viéville entre 1956 e 2011.

Anos	Área (km <sup>2</sup> )
1956	23,49
1979	22,64
1988	22,05
1995	21,05
2000	20,59
2011	19,01

Tabela 3. Taxa de retração anual estimada para a Geleira Viéville entre 1956 e 2011.

Anos	1956-1979	1979-1988	1988-1995	1995-2000	2000-2011
Retração (km <sup>2</sup> )	0,85	0,59	1,00	0,46	1,58
Intervalo (anos)	23	09	07	05	11
Taxa de retração (km <sup>2</sup> /ano) em cada período	0,037	0,066	0,143	0,092	0,144

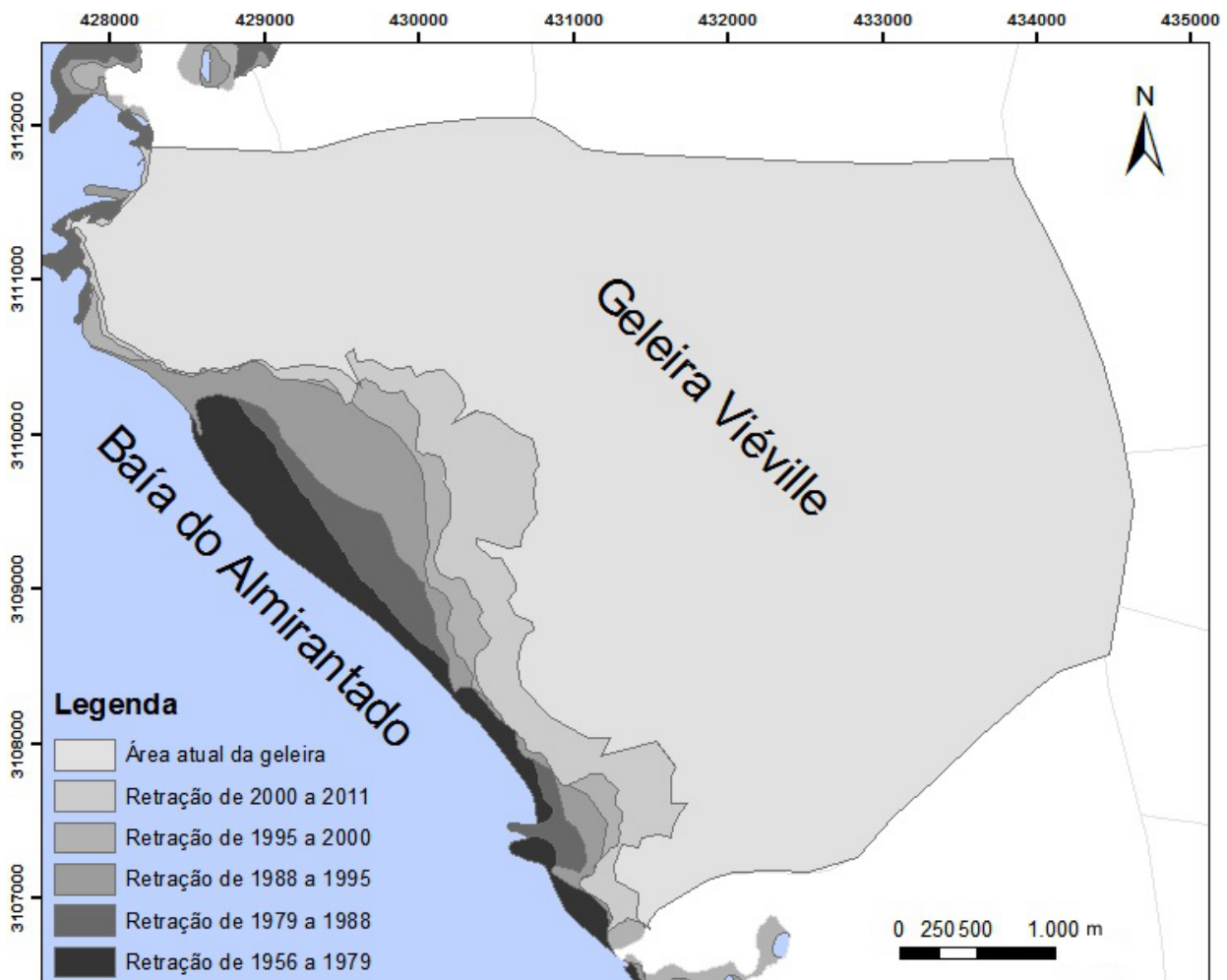


Figura 2. Mapa de retração frontal da Geleira Viéville.

Os resultados da geração de dados hipsométricos, a partir da classificação do MDT em oito (8) classes com um intervalo em cada classe de 100

m, demonstraram que a geleira tem altitudes que variam de 400-500 m em relação ao nível do mar (Fig. 4).

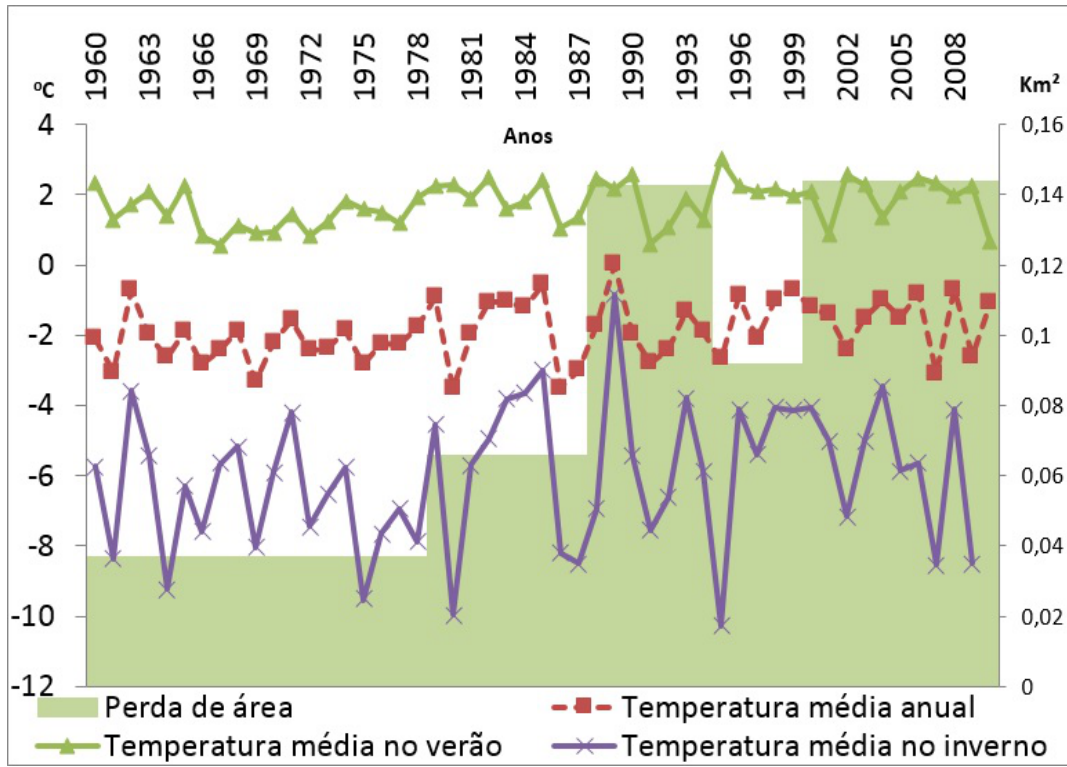


Figura 3. Taxa de retração média anual e variação da temperatura média superficial do ar anual.

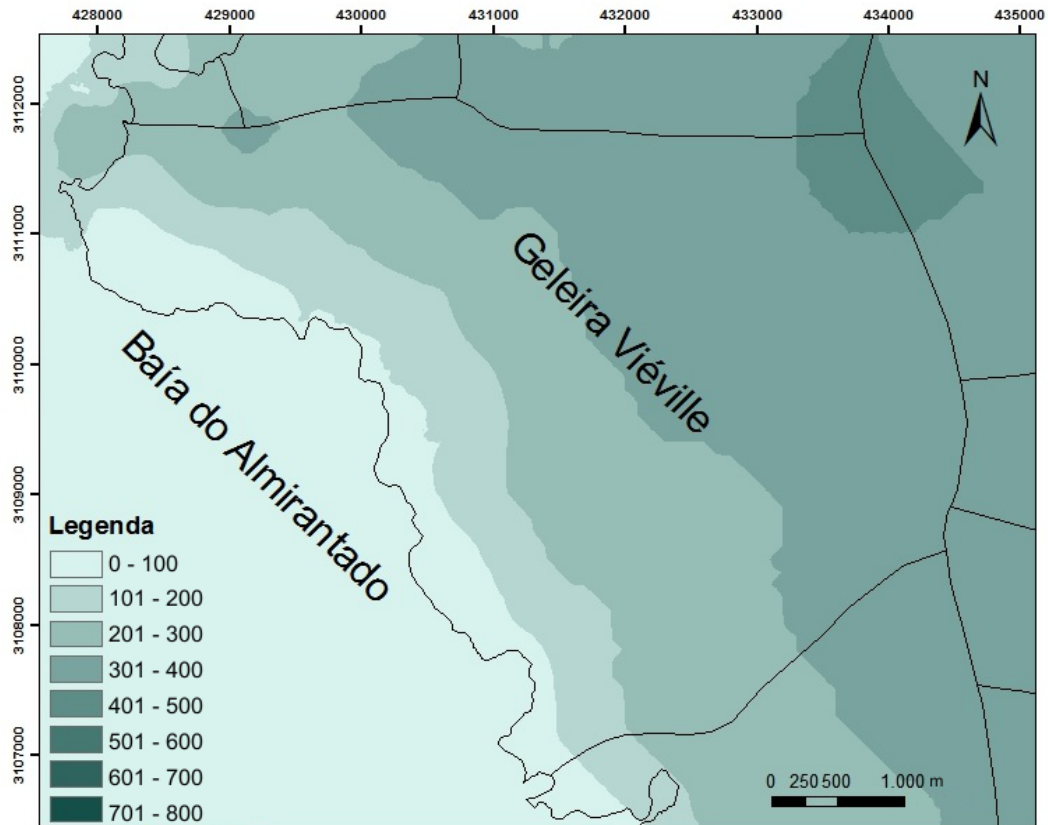


Figura 4. Mapa hipsométrico da Geleira Viéville.

Para a obtenção do Mapa de Declividade, o MDT foi classificado em seis classes, que variam de Muito Baixa a Muito Alta (Fig. 5). A geleira possui sua parte frontal com maior declividade, o que pode influenciar em uma maior velocidade de deslizamento basal e produção sedimentar. Se a geleira estiver com sua parte frontal ancorada em bancos morânicos ou/e embasamento rochosos esta velocidade de deslize basal pode ser atenuada.

Os resultados do Mapa de Aspecto (Fig. 6) indicaram que nesta geleira predominam orientações sudoeste-oeste e sul-sudoeste e, devido à latitude, ela recebe menos incidência de radiação solar do que as geleiras voltadas para o norte na área de estudo. Esta relação tem influência no balanço de energia no ambiente glacial e pode, ao longo do tempo, influenciar nos processos de ablação.

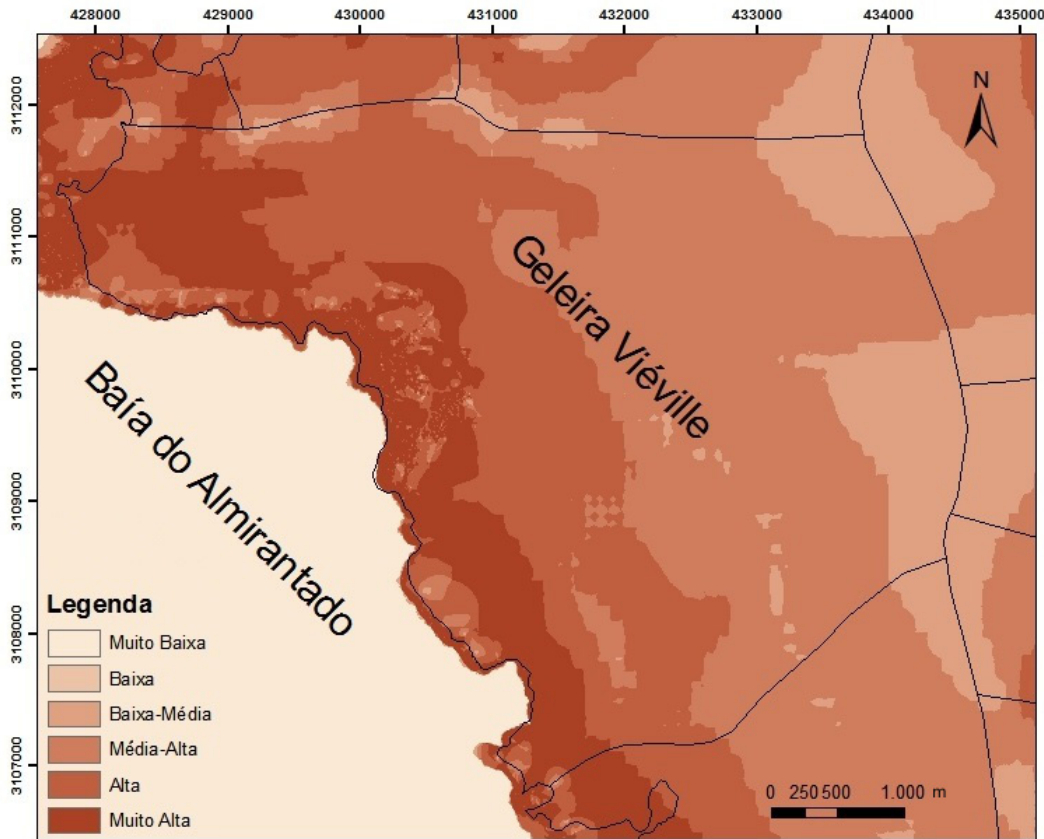


Figura 5. Mapa de declividade da Geleira Viéville.

Como mostrado na figura 7, o relevo possui irregularidades na acumulação do gelo na parte frontal da geleira, em função da maior declividade e obstáculos do embasamento rochoso, o que promove uma zona de fendas.

O processo de retração da Geleira Viéville é acompanhado por degelo subglacial observado pela pluma de turbidez frontal no ambiente glaciomarinho (Fig. 8).

A área de turbidez na zona proximal glaciomarinha pode estar relacionada com uma área de sedimentos em suspensão. Este processo pode ser interpretado como vinculado ao processo de retração por fusão e abrasão subglacial relacionado ao um regime termal basal úmido para a Geleira Viéville, ou seja, próximo do ponto de fusão sob pressão.

Pesquisas de Macheret *et al.* (1997) também

indicam que a massa de gelo da Ilha Rei George está no ponto de fusão sob pressão (Macheret & Moskalevsky, 1999; Pfender 1999; Simões, *et al.*, 2004). Mantos de gelo frio com temperaturas abaixo do ponto de degelo sob pressão e pouca quantidade de água de degelo são distinguidos de campos de gelo temperados que apresentam temperaturas sob o ponto de pressão, onde a água de degelo está presente dentro do corpo de gelo (Patterson, 1994).

De acordo com Aquino (1999), o clima atual é um dos fatores principais no controle dos processos de retração das frentes de gelo e sedimentação na região. Variações na temperatura e precipitação afetam a geração de água de degelo, e influenciam o suprimento de material terrígeno. Adicionalmente, o clima subpolar marítimo da ilha implica em forte aporte de água de degelo, facilitando os

processos erosivos pelas geleiras e a transferência desses produtos de erosão para o ambiente glaciomarinho. A concentração destes sedimentos pode estar relacionada com a quantidade de descarga de água de degelo e os sedimentos são um produ-

to da erosão por abrasão da geleira. Esta produção sedimentar é transportada por um sistema de drenagem subglacial e gera um aporte na área frontal da geleira.

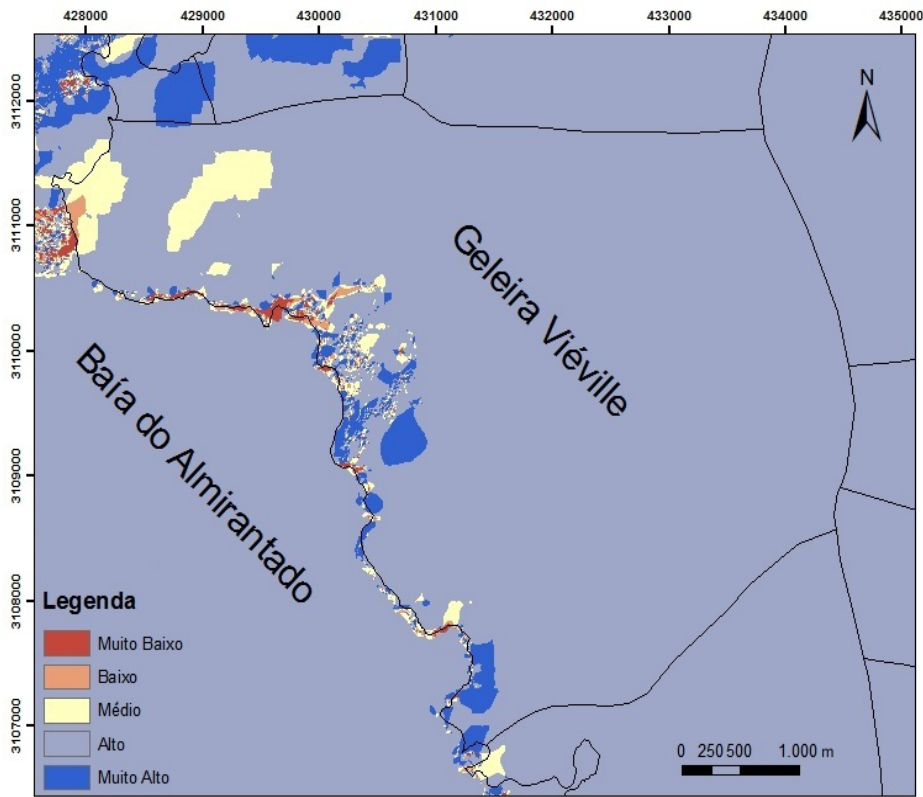


Figura 6. Mapa de aspecto da Geleira Viéville.

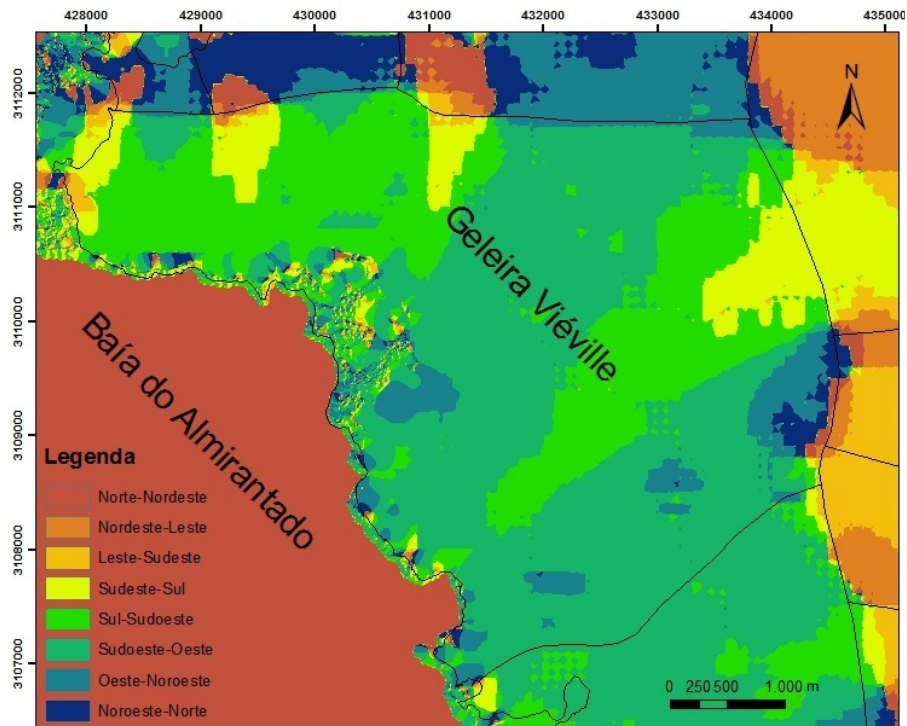


Figura 7. Mapa de sombreamento da Geleira Viéville.



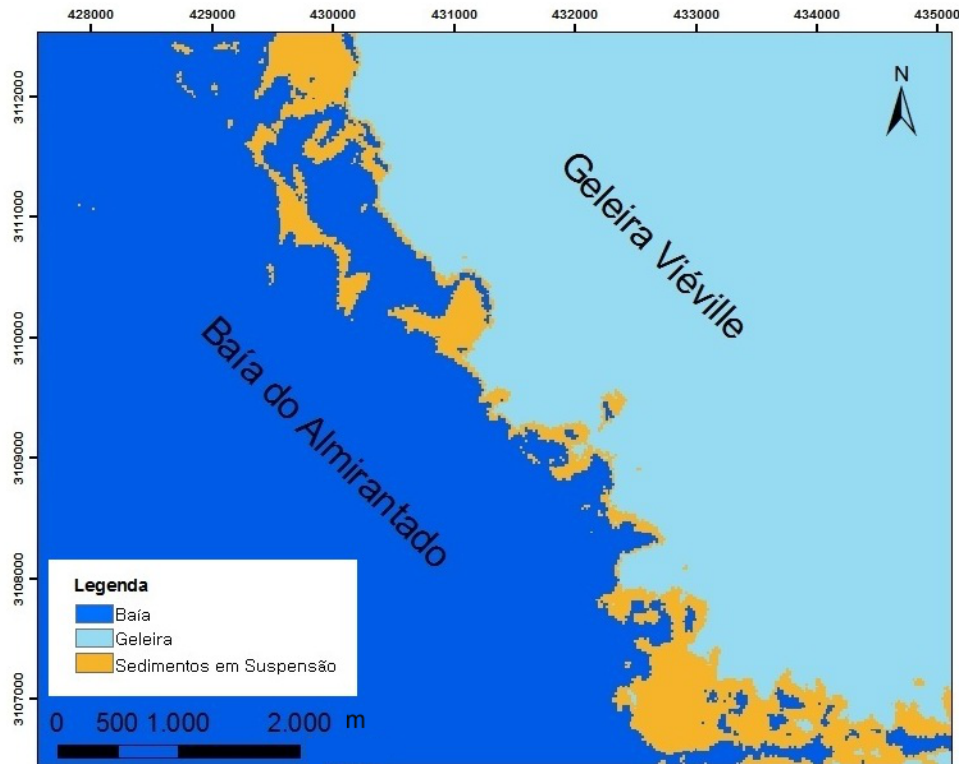


Figura 8. Mapa mostrando a área de turbidez na água na zona frontal da Geleira Viéville.

As plumas de sedimentos identificadas na superfície da baía estão relacionadas, principalmente, ao aporte de água de degelo proveniente de canais subglaciais diretamente pelo término da geleira (Pecherzewski, 1980; Gruber, 1989; Griffith & Anderson, 1989; Domack *et al.*, 1989; Domack & Ishman, 1993; Yoon *et al.*, 1997, 1998; Aquino 1999; Pilchmaier *et al.*, 2004).

Pilchmaier *et al.* (2004) relacionaram a variação dos sedimentos em suspensão com o aumento da descarga de água de degelo e erosão, e ainda com ressuspensão de sedimentos previamente depositados no fundo marinho. A distribuição espacial da concentração de sedimentos suspensão varia fortemente com as condições meteorológicas e oceanográficas na área (Vogt & Braun, 2004).

A diminuição da área da geleira pode ser verificada através da variação das imagens dos diferentes anos. Os dados de retração obtidos demonstram que a geleira diminuiu de área de 23,49 km<sup>2</sup> em 1956 para 19,01 km<sup>2</sup> em 2011, sem que houvesse avanço de sua posição frontal neste período.

Técnicas de processamento digital de imagens demonstraram o padrão de dispersão espacial da zona de turbidez no ambiente glaciomarinho na parte frontal da geleira. Estes resultados indicam que o aporte de sedimentos e fluxo da água de degelo está relacionado com o processo de retração da geleira por fusão subglacial em condições de regime termo-basal úmido e também podem evi-

denciar condições de base frontal flutuante (não ancorado no fundo marinho).

Através da análise que correlacionou a retração da geleira com os dados meteorológicos do local no período analisado, observou-se que em alguns períodos a perda de área da geleira está relacionada com a variabilidade da temperatura média superficial do ar anual. Por este processo de fusão ocorre um aumento na descarga de água doce no ambiente glaciomarinho, que pode causar mudanças no ecossistema local, na dinâmica glacial, na produção de sedimentos glaciais e no nível médio local do mar. Quando há descarga de água doce e sedimentos para a baía pode ocorrer um grande impacto no ambiente marinho costeiro e também no ecossistema terrestre (Vogt & Braun, 2004).

## 6 Conclusões

A geleira Viéville mostrou-se ser sensível às mudanças climáticas evidenciadas para a área de estudo, com diminuição de 4,48 km<sup>2</sup> em sua área no período de 1956-2011. Constatou-se também que a geleira possui condições de base frontal flutuante e possui aporte de água de degelo proveniente de canais subglaciais. A geleira responde às variações de temperatura média anual do ar em alguns períodos estudados com maior ou menor retração.

Os resultados indicam que o comportamento

dinâmico da Geleira Viéville pode estar respondendo às variações de temperatura média anual superficial do ar em alguns períodos observados. Essa resposta pode ser influenciada pelas características de área, espessura da geleira, assim como variações na precipitação de neve e precipitação líquida anual.

Para a compreensão da resposta das variações climáticas nas últimas décadas na dinâmica glacial é relevante realizar futuros estudos sobre alterações no balanço de massa e variações na precipitação de neve anual e precipitação líquida no verão. O MDT e os mapas morfométricos gerados e disponibilizados em um SIG podem ser utilizados para futuros estudos sobre a dinâmica glacial e análise das variações ambientais de parâmetros como a variação da atitude da linha de neve e auxiliar na avaliação de alterações no balanço de massa da geleira. Para a verificação da relação da turbidez com a produção de sedimentos pela geleira é relevante uma amostragem em campo para avaliar a concentração dos sedimentos em suspensão, assim como monitoramento multitemporal com a verificação de correlações com mudanças na dinâmica glacial.

Assim, tal geleira é de interesse para os estudos ambientais devido às suas respostas relativamente rápidas (intervalos de década) às mudanças climáticas. As alterações relacionadas com a retração frontal geram mudanças na dinâmica sedimentar da enseada.

**Agradecimentos** - Este trabalho foi desenvolvido com o financiamento de recursos provenientes do Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, proc. 475478/2013-4).

## Referências

- Anderson, J.B. & Molnia, B.F. 1989. Glacial-marine sedimentation. Short course in Geology. *American Geophysical Union*, Washington, 127p.
- Aquino, F.E. 1999. *Sedimentação moderna associada à geleira de maré Lange, ilha Rei George, Antártica*. Porto Alegre, 106p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 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, RS. 84p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Birkenmajer, K. 1981. Raised marine features and glacial history in the vicinity of Arctowski Station, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Quaternary Science Reviews*, 29(2):109-117.
- Blaschke, T. & Kux, H.J.H. (Org.). 2007. *Sensoriamento Remoto e Sig avançados - nova versão atualizada*. 2 ed. São Paulo, Oficina de Textos Ltda., 1: 209-226.
- Blindow, N., Suckro, S.K., Rückamp, M., Braun, M., Schindler, M., Breuer, B., Saurer, H., Simões, J.C. & Lange, M.A. 2010. Geometry and thermal regime of the King George Island ice cap, Antarctica, from GPR and GPS. *Annals of Glaciology*, 51(55): 103-109.
- Braun, M. & Goßmann, H. 2002. Glacial changes in the area of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, Antarctica. In: Beyer, M. & Boelter M. (ed.), *GeoEcology of Terrestrial Antarctic Oases*, Springer Verlag, p. 75-89.
- Braun, M. 2001. *Ablation on the ice cap of King George Island (Antarctica)*. Freiburg, 165p. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universitat.
- Bremer, U.F. 1998. *Morfologia e Bacias de Drenagem da Cobertura de Gelo da ilha Rei George, Antártica*. Porto Alegre, 117p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Curl, J.E. 1980. *A glacial history of the South Shetland Islands, Antarctica*. Ohio State University, Institute of Polar Studies Report, 63, 129 p.
- Domack, E.W. & Ishman, S.E. 1993. Oceanographic and physiographic controls on modern sedimentation within Antarctic fjords: *Geological Society of America Bulletin*, 105: 1175-1189
- Domack, E.W., Burkley, L.A. & Williams, C.R. 1989. Character of modern glacial marine sediments: Antarctic Peninsula and South Shetland Islands. *Antarctica Journal*, 1: 113 -115.
- Domack, E., Levanter, A., Dunbar, R., Taylor, F., Brachfield, S. & Sjunneskog, C. 2001. Chronology of the Palmer Deep site, Antarctic Peninsula: a Holocene palaeoenvironmental reference for the circum-Antarctic. *The Holocene*, 11: 1-9.
- Griffith, T.W. & Anderson, J.B. 1989. Climatic control of sedimentation in bays and fjords of the northern Antarctic Peninsula. *Marine Geology*, 85: 181-204.
- Gruber, N.L.S. 1989. *Contribuição ao estudo da sedimentação glaciomarinha da Baía do Almirantado, Ilha Rei Jorge, Antártica*. Porto Alegre, 174p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Groups I to the Fifth Assessment. IPCC, Stockholm, Sweden.
- Jansson, P., Hock, R. & Schneider, T. 2003. The concept of glacier storage - A review. *Journal Hydrology*, 282(1-4): 116-129.
- John, B. & Sugden, D. 1971. Raised marine features and phases of glaciation in the South Shetland Islands. *British Antarctic Survey*, 24: 45-111.

- Macheret, Y., Moskalevsky, M., Simões, J.C. & Ladouch, L. 1997. Radio-echo sounding of King George Island ice cap, South Shetland Islands, Antarctica. *Mater Glyt-siol Issled*, 83: 121-128.
- Macheret, Y. & Moskalevsky, M. 1999. Study of Lange Glacier on King George Island, Antarctica. *Annals of Glaciology*, 29: 202-206.
- Mäusbacher, R., Müller, J., Munnich, M. & Schmidt, R. 1989. Evolution of postglacial sedimentation in Antarctic lakes (King George Island). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 33: 219-234.
- Menzies, J. 1995. *Modern Glacial Environments: Processes, Dynamics and Sediments*. Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 621p.
- Monaghan, A.J., Bromwich, D.H.; Chapman, W. & Comiso, J.C. 2008. Recent variability and trends of Antarctic near-surface temperature. *Journal of Geophysical Research*, 113: D04105.
- Paterson, W.S.B. 1994. *The Physics of Glaciers*. 3.ed. Elsevier, Oxford, 480p.
- Pecherzewski, K. 1980. Distribution and quantity of suspended matter in Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands). *Polish Polar Research*, 1: 75-82.
- Pfender, M. 1999. *Topographie und Glazialhydrologie von King George Island, Antarktis*. Deutschland, 99p. Diplomarbeit, Institut für Geophysik, Universität Münster.
- Pilchmaier, M., Aquino, F.E., Silva, C.S. & Braun, M. 2004. Suspended sediments in admiralty Bay, King George Island (Antarctica). *Pesquisa Antártica Brasileira*, 4: 77-85.
- Powell, R.D. 1990. Glacimarine processes at grounding-line fans and their growth to ice-contact deltas. In: Dowdeswell, J.A. & Scourcse, J.D. (Eds), *Glacimarine Environments: Processes and Sediments*. Geological Society Special Publication, 53: 53-73.
- Rosa, K.K. 2012. *Dinâmica glacial, sedimentológica e variações ambientais em geleiras na Enseada Martel, Ilha Rei George, Shetlands do Sul*. Porto Alegre, 175p. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Rosa, K.K., Souza, E.J.R., Vieira, R. & Simões, J.C. 2014a. The landforms and pattern of deglaciation of the Dragon glacier, King George Island, South Shetlands, Antarctica. *Revista de Geografia*, 30: 6-16.
- Rosa, K.K., Simões, C.L., Marotta, H., Vieira, R. & Simões, J.C. 2014b. Recent glaciological and geomorphological changes in Kraków Ice Field and Collins Glacier, King George Island, Antarctica. In: SCAR OPEN SCIENCE CONFERENCE, 2014, Auckland. *Anais...* Auckland. p. 38.
- Seong, Y.B., Lim, H.S., Yoon, H.I., Lee, Y.I., Kim, Y. & Owen, L.A. 2006. A preliminary geomorphic overview of Late Quaternary glacier fluctuations in the South Shetland Islands, West Antarctica. *Journal of the Korean Geographical Society*, 41: 513-526.
- Setzer, A.W. & Hungria, C.S. 1994. *Meteorologia na Península Antártica - Alguns aspectos práticos*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 101p.
- Setzer, A.W. & Harter, F. P. 2004. Estudo das temperaturas mínimas de julho 1995 na Estação Antártica Comandante Ferraz, ilha Rei George. *Revista Pesquisa Antártica*, 4: 171-181.
- Simões, J.C., Bremer, U.F., Aquino, F.E. & Ferron, F.E. 1999. Morphology and variations of glacial drainage basins in King George Island icefield, Antarctica. *Annals of Glaciology*, 29: 220-224.
- Simões, J.S., Ferron, F.A., Bernardo, R.T., Aristarain, A.J., Stiévenard, M., Pourchet, M. & Delmas, R.J. 2004. Ice core study from the King George Island, South Shetlands, Antarctica. *Pesquisa Antártica Brasileira*, 4: 9-23.
- Syvitski, J.P.M. 1989. On the deposition of sediment within glacier-influenced fiordes: oceanographic controls. *Marine Geology*, 85: 301-329.
- Turner, J., Bindschadler, R.A., Convey, P., Di Prisco, G., Fahrbach, E., Gutt, J., Hodgson, D.A., Mayewski, P.A. & Summerhayes, C.P. (eds.). 2009. *Antarctic Climate Change and the Environment*. Cambridge, UK, Scientific Committee on Antarctic Research, p. 1-32.
- Turner, J., Colwell, S.R., Marshall, G.J., Lachlan-Cope, T.A., Carleton, A.M., Jones, P.D., Lagun, V., Reid, P.A. & Iagovkina, S. 2005. Antarctic climate change during the last 50 years. *Journal of Climatology*, 25: 279-294.
- Vogt, S. & Braun, M. 2004. Influence of glaciers and snow cover on terrestrial and marine ecosystems as revealed by remotely-sensed data. *Pesquisa Antártica Brasileira*, 4: 105-118.
- Yoon, H.I., Han, M.W., Park, B.K., Oh, J.K. & Chang, S.K. 1997. Glaciomarine sedimentation and paleoglacial setting of Maxwell Bay and its tributary embayment, Marian Cove, South Shetland Islands, West Antarctica. *Marine Geology*, 140: 265-282.
- Yoon, H.I., Park, B.K., Domack, E.W. & Kim, Y. 1998. Distribution and dispersal pattern of suspended particulate matter in Maxwell Bay and its tributary, Marian Cove in the South Shetland Islands, West Antarctica. *Marine Geology*, 152: 261-275.
- Yoon, H.H., Park, B.K., Kim, Y. & Kim, D. 2000. Glaciomarine sedimentation and its paleoceanographic implications along the fiorde margins in the South Shetland Islands, Antarctica during the last 6000 years. *Palaogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 157: 189-211.

Manuscrito 548.

Editores: Cesar L. Schultz e Maria do Carmo Lima e Cunha.

