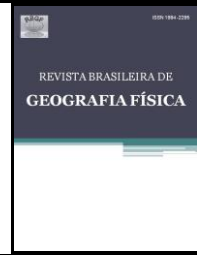




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Variabilidade do Processo de Descarga de Água de Degelo Glacial para o Ambiente Glacimarinho da Enseada Martel, ilha Rei George, Antártica

Rosa, K. K.¹; Vieira, R.²; Simões, J. C.³

¹Centro Polar e Climático – INCT da Criosfera. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. CEP:90450-090 - Porto Alegre - RS, Brasil. E-mail: katiakellem@yahoo.com.br

²Universidade Federal Fluminense – Campus de Campos de Goytacazes. Rua José do Patrocínio, 71, Campos de Goytacazes. CEP: 28010-385, RJ, Brasil. E-mail: rosemary.vieira@ufrgs.com.br

³Centro Polar e Climático – INCT da Criosfera. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. CEP: 90450-090 - Porto Alegre - RS, Brasil. E-mail: jefferson.simoes@ufrgs.br

Artigo recebido em 29/09/2011 e aceito em 01/12/2011

RESUMO

A liberação da água estocada no sistema glacial depende da variabilidade da descarga de água de degelo pelas geleiras para o ambiente glacimarinho. Com o processo de retração das geleiras, torna-se importante o monitoramento destes processos. Neste trabalho, a dinâmica hidrológica de geleiras que drenam para a enseada Martel, ilha Rei George, Shetlands do Sul, Antártica, foi investigada através de informações do aporte de água de degelo para o ambiente glacimarinho. Foram realizadas mensurações de vazão no canal proglacial da geleira Wanda e análises da distribuição espacial dos fluxos de água de degelo das geleiras que drenam para a enseada através de técnicas de processamento de imagem ASTER. Resultados demonstram que esses processos liberam um grande fluxo de água de degelo dentro da circulação estuarina, tanto por fluxos em canais proglaciais, provenientes da fusão de geleiras de término terrestre, quanto das geleiras de maré. Esses podem refletir a variabilidade climática evidenciada na área de estudo. Dados demonstraram que há uma correlação direta entre a variabilidade da descarga de água de degelo, a profundidade do perfil do canal proglacial e o aumento da temperatura média do ar local. Assim, o uso desta metodologia possui potencial para o uso no desenvolvimento de modelos de monitoramento da variabilidade dos processos de estocagem de água de degelo. Flutuações nos fluxos de água de degelo podem acarretar mudanças ambientais na dinâmica glacial, na produção de sedimentos glaciais, no nível médio local do mar e nos níveis de salinidade no ambiente glacimarinho.

Palavras chaves: estocagem hídrica, mudanças ambientais, descarga de água de degelo, ambiente glacimarinho, canais proglaciais

Variability of Water Discharge Process of Melting Ice Environment Glacimarinho of Martel Inlet, Rei George Island, Antarctica

ABSTRACT

The release of water storage in glacial system depends on meltwater discharge variability by glacimarine environment. With the glacial retreat, the monitor these processes become relevant for glaciological studies. In this work, the hydrological dynamic of the glaciers with flow for Martel inlet, King George Island, South Shetlands, Antarctica, was investigated through of meltwater contribution date for glacimarine environment. Was performed discharge measurements in proglacial channel at Wanda glacier and analyzed the spatial meltwater contribution of the glaciers in inlet through Aster image processing techniques. Results show that these processes release significantly meltwater flow for Martel inlet by proglacial channels, provided for proglacial terminus glaciers, and tidewater glaciers. These processes can be consequence of climatic variability evidenced in study area. Date show the correlation between the meltwater discharge variability, the proglacial channel profile depth and the air temperate increase. Thus, the application of methodology has potential for variability glacial water storage monitoring studies. Meltwater discharge fluctuations can provide environmental changes in glacial dynamic, glacial sediment yield, level sea and salinity levels in study area.

Keywords: water storage, environmental change, melting water discharge, glacimarine environmental, proglacial channel

* E-mail para correspondência: katiakellem@yahoo.com.br
(Rosa, K. K.).

1. Introdução

A água em estado líquida é temporariamente estocada no sistema glacial e sua liberação depende da variabilidade da descarga de água de degelo pela geleira para o ambiente glacimarinho (Jansson *et al.*, 2003). A descarga de água de degelo possui considerável variação sazonal e diurna (Drewry, 1986). Durante o inverno, geleiras são geralmente cobertas por neve, com alto albedo e baixa temperatura do ar. Nestas condições, a superfície de degelo é mínima e a água de degelo que é produzida sofre recongelamento. No verão, há formação de eficientes canais de água de degelo em direção a área de ablação (Hubbard e Glasser, 2005). O volume de descarga de água de degelo glacial também desenvolve um ciclo diurno que reflete principalmente a temperatura do ar, radiação solar recebida, e ainda com a precipitação líquida (Benn e Evans, 2010). Precipitações líquidas podem gerar um alto grau de degelo superficial. Com o aumento da entrada de energia solar durante o dia ao final da tarde há um pico de descarga, o qual diminui durante a noite quando a superfície de degelo normalmente cessa. (Hubbard e Glasser, 2005). De acordo com pesquisas de Elliston (1973), o ciclo diário de descarga é interrompido numa tempestade de neve, reduzindo a descarga a um nível constantemente baixo. Assim, o volume de água estocada pela geleira tende a diminuir através da estação de ablação. (Hock e Hooke, 1993).

No entanto, muitas geleiras têm apresentado rápido processo de degelo glacial, diminuindo o volume estocado e transferindo em maiores intensidades o aporte de água de degelo diretamente para o ambiente glacimarinho ou através de canais proglaciais. O monitoramento do aporte de água de degelo liberado pelas geleiras é relevante para o estudo das flutuações do mar, da dinâmica glacial, do transporte de sedimentos e ainda para a formação de geofomas glaciais (Jansson *et al.*, 2003).

Neste trabalho, a dinâmica hidrológica de geleiras que drenam para a enseada Martel foi monitorada através de informações do aporte de água de degelo para o ambiente glacimarinho.

A enseada Martel (Figura 1) localiza-se no setor norte da Baía do Almirantado, na ilha Rei George, Shetlands do Sul, Antártica. O aporte de água de degelo das geleiras que drenam para o ambiente glacimarinho (Figura 2) ocorre predominantemente por correntes de água de fusão, tanto por fluxos em canais proglaciais provenientes da fusão de geleiras de término terrestre quanto das geleiras de maré. Esses processos liberam uma grande quantidade de água de degelo de origem supra, intra e subglacial dentro da circulação estuarina.

De acordo com Vogt e Braun (2004), a forte contribuição de água doce para a enseada tem considerável impacto na vida marinha costeira, e adicionalmente no ecossistema terrestre. Rakusa-Suszczewski *et*

al. (1993) observa que a disponibilidade de nutrientes e sua variação sazonal são controlados mais pelos processos da dinâmica hidrológica do que por biológicos na área de estudo.

A geleira Wanda (Figura 2) é uma das geleiras que drena para a enseada Martel e se

caracteriza pela sua atual frente terrestre e pela formação de uma laguna proglacial, resultado do processo de retração das últimas décadas. Esta se comunica com a enseada Martel por meio de um canal proglacial, o qual é responsável pela transferência de água de degelo para o ambiente glacimarinho.

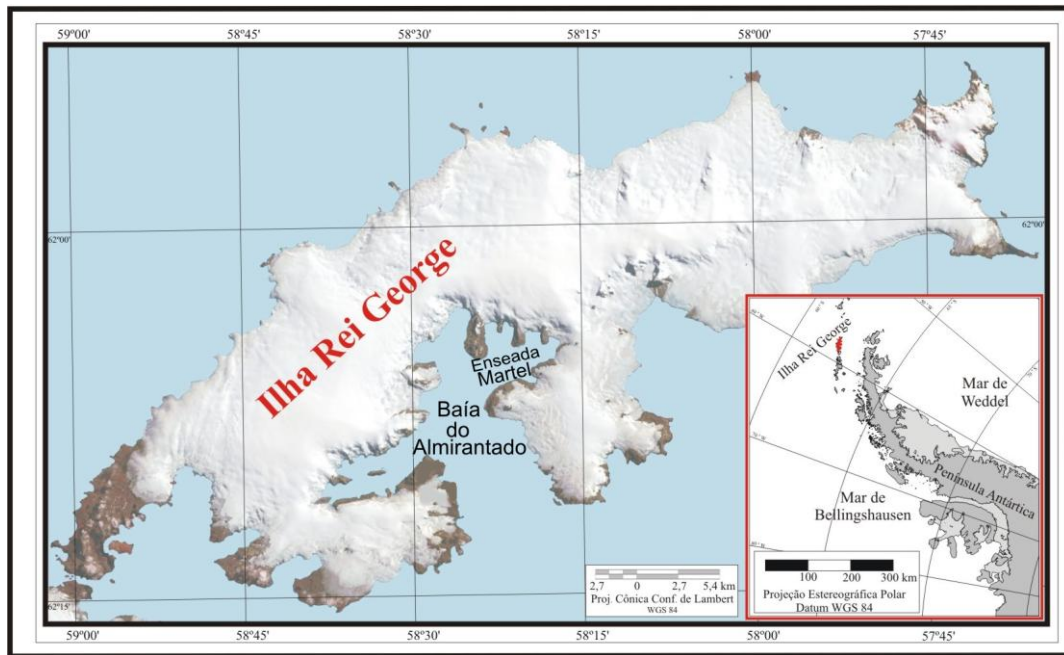


Figure 1. Mapa de localização da enseada Martel.

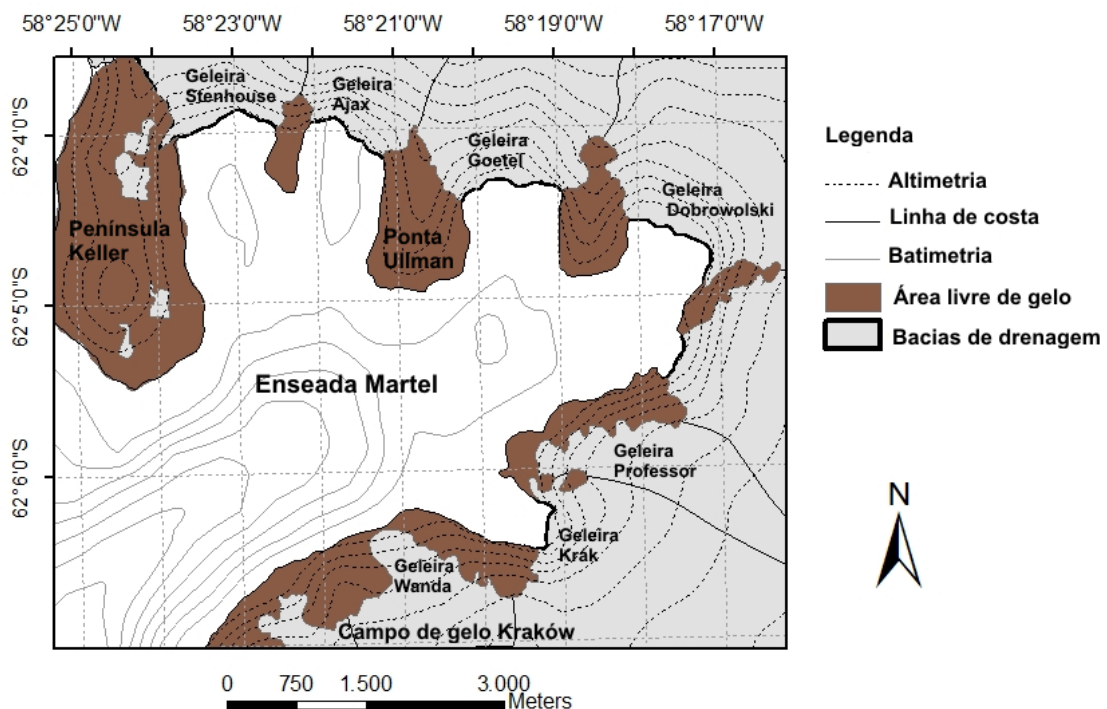


Figura 2. Geleiras que drenam para a enseada Martel.

O clima na ilha Rei George é determinado pelas sucessivas passagens de sistemas ciclônicos, em sua maioria originários do setor sudeste do oceano Pacífico. Esses sistemas transportam ar relativamente quente e úmido. O clima apresenta pequenas variações na temperatura atmosférica ao longo do ano, alta umidade relativa do ar (entorno de 82%) (Rakusa-Suszczewski *et al.*, 1993; Binjanta, 1995).

Vários autores têm registrado a retração de geleiras na ilha desde 1950 (Park *et al.*, 1998; Bremer, 1998; Simões e Bremer, 1995; Simões *et al.*, 1999; Aquino, 1999; Braun e Gossmann, 2002; Vieira *et al.*, 2005; Rosa, 2008; Rosa *et al.*, 2009). Ao longo dos últimos 30 anos, os dias do ano com precipitação líquida no verão aumentaram, juntamente com o número de dias em que a temperatura média de ultrapassou os 0°C, esse processo acelera a fusão de neve e gelo

proveniente das geleiras da ilha (Braun *et al.*, 2001; Ferrando, 2009). O padrão de retração glacial reflete a tendência ao aquecimento atmosférico na região da Península desde 1940 (Kejna *et al.*, 1998; Park *et al.*, 1998, Simões *et al.*, 2004, Cook *et al.*, 2005).

3 Materiais e Métodos

Mensurações da descarga de água de degelo proveniente da geleira Wanda para o ambiente da enseada Martel foram realizadas diariamente durante o mês de Janeiro de 2011 (Figura 3) devido às condições logísticas. Estas foram associadas a dados meteorológicos obtidos pela Estação Comandante Ferraz no período estudado. A determinação da velocidade média do canal foi realizada com dados de profundidade média e largura do canal, possibilitando o cálculo da área da seção.



Figura 3. Realização de medidas de vazão no canal proglacial da geleira Wanda.

Foram realizadas análises da distribuição espacial do fluxo de água de degelo através do processamento de imagens

de satélites visando detectar plumas de sedimentos em suspensão na parte frontal das geleiras. A localização das plumas é

indicativa da distribuição espacial da descarga de água de degelo para o ambiente glacimarinho.

O estudo aqui apresentado foi desenvolvido com imagem ASTER obtida em 11 de novembro de 2005 e em três etapas: a) pré-processamento digital dos dados; b) processamento digital dos dados; c) análise e interpretação dos produtos gerados. O sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) localiza-se a bordo do satélite EOS AM-1. O ASTER é formado pelos seguintes subsistemas: Visível e Infravermelho Próximo (VNIR), com três bandas e resolução espacial de 15 metros; Infravermelho Médio (SWIR), com seis bandas e resolução espacial de 30 metros; e Infravermelho Termal (TIR), com cinco bandas e resolução espacial de 90 metros. Na composição das bandas para a visualização utilizou-se as bandas do visível, obtendo-se como resultado a distinção de plumas, juntamente com a água de degelo, menos densa no ambiente estuarino. Desta forma, a informação espectral permitiu levantar hipóteses sobre o padrão espacial dos fluxos de água de degelo no ambiente. Neste trabalho foram aplicadas as técnicas de realce de contraste linear juntamente com a manipulação do histograma nas diferentes bandas utilizadas nesta composição colorida. Com ferramenta histograma, aplicou-se *stretch* para que a neve ficasse saturada e a água realçada, fazendo com que aparecesse contraste na água da baía do Almirantado

(Figura 4) e diferenciando os fluxos de água de degelo. Foram aplicadas técnicas de classificação definindo-se amostras (áreas de treinamento) por limiares de similaridade entre as regiões de pixels agrupadas, para então, a posterior aplicação do algoritmo de classificação supervisionada Máxima Verossimilhança. A classificação de padrões permitiu associar a cada nível de cinza de uma imagem a uma categoria de interesse.

4. Resultados

Resultados do processamento digital da imagem Áster (Figura 3) demonstraram a distribuição espacial do aporte de água doce geradas no término das geleiras que drenam para a enseada Martel. Geleiras com maiores fluxos de água de degelo estão relacionadas a fortes fluxos de água de degelo na base destas geleiras.

Perfis transversais da coluna d'água (Figura 5) e mensurações de vazão (Figura 6, 7 e 8) no canal proglacial (Figura 3) da geleira Wanda mostram a variabilidade dos processos de descarga de água de degelo e sua relação com as condições meteorológicas (Figura 7).

O perfil transversal de menor profundidade de água (Figura 5 b) está relacionado a horários de menor vazão, em que ocorre a obstrução dos canais devido à reduzida radiação recebida durante a noite. Variações nos perfis do canal também foram influenciadas pela direção e velocidade dos ventos predominantes, o qual pode ter causado um acúmulo de água de degelo numa

das partes da sessão do canal, de acordo com a intensidade e direção proveniente do vento. Dias de maior radiação solar resultaram em picos de descarga e perfis transversais com maior perímetro molhado (Figura 5 A), principalmente no período entre as 14 horas

às 18 horas. Condições de tempestades de neve com fortes ventos podem ter causado fechamento temporário de canais subglaciais, resultando em diminuição da vazão e perfis transversais de menor profundidade.

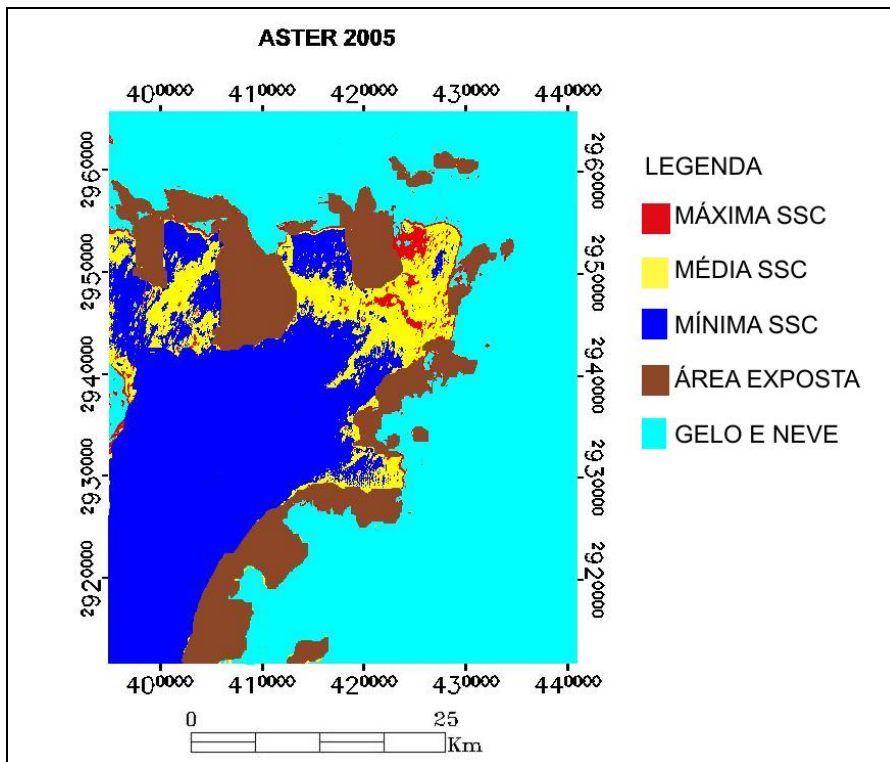


Figura 4. Classificação final na imagem Áster.

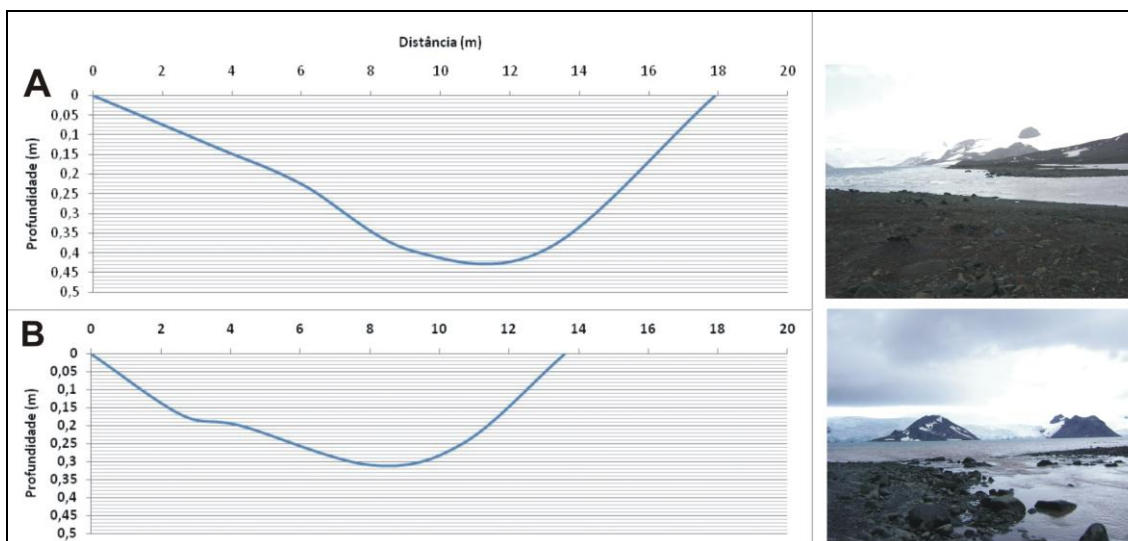


Figura 5. Perfis transversais do canal proglacial da geleira Wanda: perfil A de maior profundidade e área molhada e perfil B de menor profundidade e área molhada.

Resultados demonstram que há uma correlação direta entre a variabilidade da descarga de água de degelo, a profundidade do perfil do canal e o aumento da temperatura média local do ar (Figura 7 e 8) durante o

período analisado, conforme o bloco diagrama (Figura 6) que indica as relações entre as variáveis da geometria do canal proglacial.

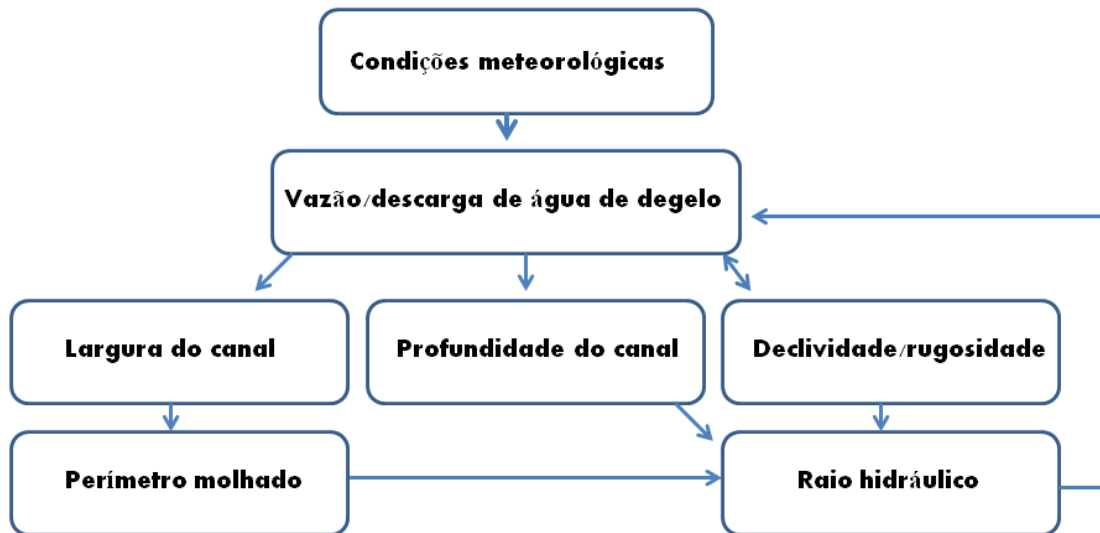


Figura 6. Relações entre as variáveis da geometria do canal proglacial.

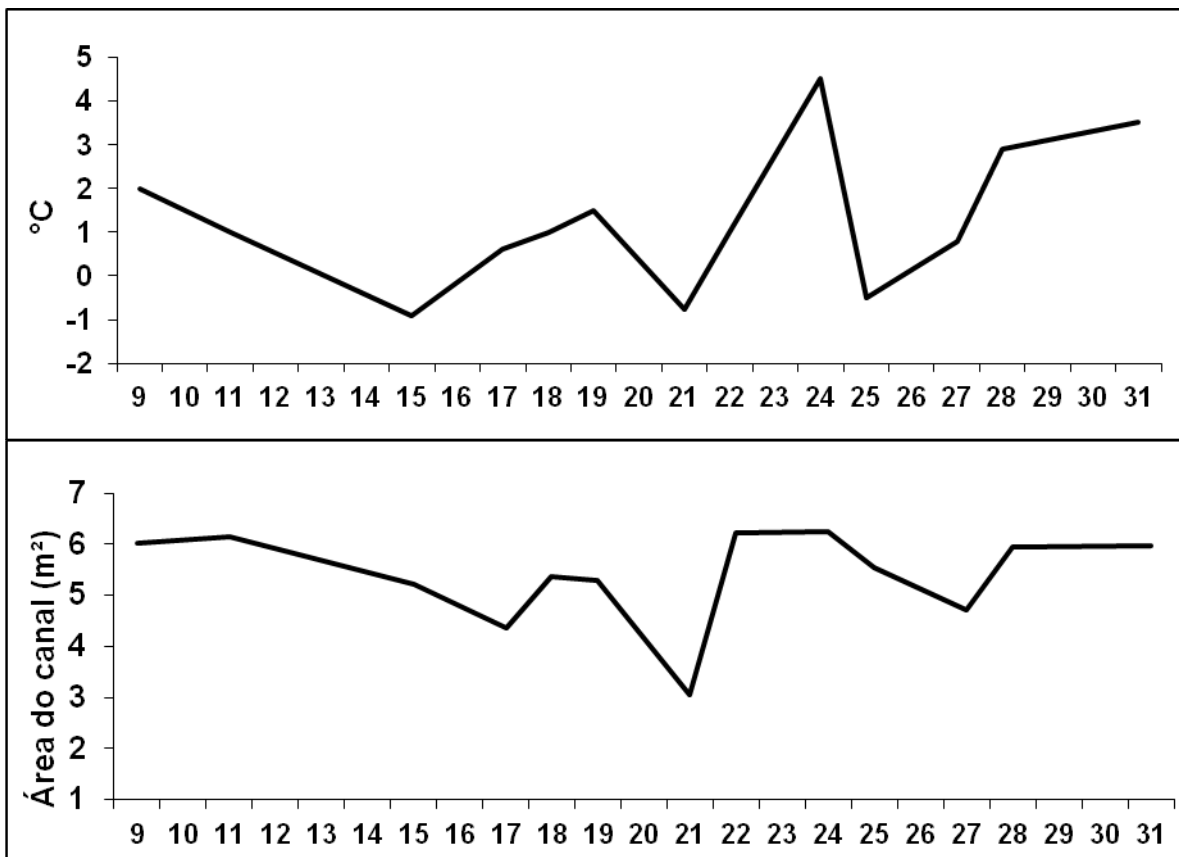


Figura 7. Variação da temperatura média do ar e da área do canal durante o período analisado do mês de janeiro de 2011.

Dados da vazão média ao longo do perfil transversal do canal (Figura 8) demonstram a tendência de aumento da velocidade superficial em direção a margem esquerda do canal ao longo do período

analisado. Este padrão está relacionado ao maior acúmulo da coluna de água em direção a esta margem devido aos fortes predominante ventos de Nordeste na área de estudo.

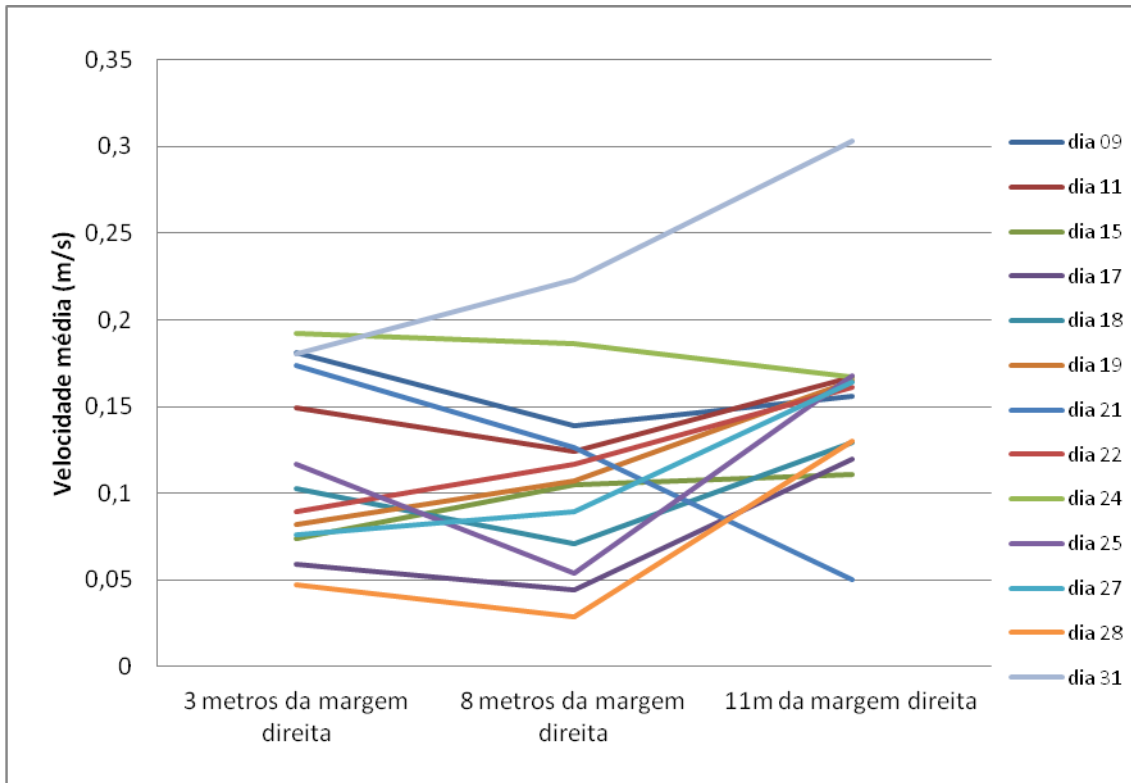


Figura 8. Dados da vazão média ao longo do perfil transversal do canal.

5. Discussão

A imagem gerada pelo método de classificação espectral indica um grande fluxo de água de degelo basal em geleiras registradas como em processo acelerado e contínuo de retração e ao provável regime termal basal úmido (próximo ao ponto de fusão sob pressão). Mudanças dos níveis de salinidade, resultante do aumento de descarga de água doce por fusão glacial na enseada Martel, podem causar interferência no ecossistema local.

Assim, o uso desta metodologia

possibilitou resultados satisfatórios para verificar o padrão espacial da água de degelo na área de estudo e possui potencial para o uso no desenvolvimento de modelos de monitoramento de sua variabilidade. Com o uso destas técnicas pode-se avaliar a intensidade dos processos de estocagem de água de degelo. Estes processos podem refletir a variabilidade climática evidenciada na área de estudo.

Registros das mudanças da descarga de água de degelo na geleira Wanda, no período observado, demonstram como estas

estão relacionadas a períodos de prolongados aumentos de temperatura média do ar. Grandes picos de descarga também ocorreram devido a eventos de precipitação líquida.

Os processos de fusão das geleiras podem estar associados com o decréscimo do albedo da superfície e a diminuição do volume de água doce estocada no gelo glacial, assim como evidenciado por Jansson *et al.* (2003).

Flutuações nos fluxos de fusão glacial, registrados na área de estudo, podem exercer um forte controle nos processos de deslizamento basal e na produção de sedimentos glacial.

6. Conclusão

O processo de retração das geleiras na área de estudo pode estar sendo acompanhado pelo aumento do suprimento de água de degelo para o ambiente glacimarinho. Mudanças dos níveis de salinidade, resultante do aumento de descarga de água doce por fusão glacial na enseada Martel, podem causar interferência no ecossistema local. Adicionalmente, flutuações nos fluxos de água de degelo, podem acarretar mudanças ambientais na dinâmica glacial, na produção de sedimentos glaciais e no nível médio local do mar.

7. Agradecimentos

Ao PROANTAR (Programa Antártico Brasileiro), ao CNPq e ao Lagamar (Laboratório de Geologia Marinha da

Universidade Federal Fluminense).

8. Referências

Aquino, F.E. (1999). *Sedimentação moderna associada à geleira de maré Lange, ilha Rei George, Antártica*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado. 106 p.

Benn, D.I.; Evans, D.J.A. (2010). *Glaciers & Glaciation*. London: Arnold, 802 p.

Bintanja, R. 1995. Local surface energy balance of the Ecology Glacier, King George Island, Antarctica: measurements and modeling. *Antarctic Science* 7, pp. 315–325.

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, pp. 75-89.

Braun, M.; Saurer, H.; Simões, J.C.; Vogt, S.; Goßmann, H. (2001). The influence of largescale atmospheric circulation on surface energy balance and ablation on King George Island, Antarctica. *International Journal of Climatology*, pP. 21-36.

Bremer, U.F. (1998). *Morfologia e Bacias de Drenagem da Cobertura de Gelo da ilha Rei George, Antártica*. Dissertação (Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 119p.

Cook, A.J.; Fox, A.J.; Vaughan, D.G.;

- Ferrigno, J.G. (2005). Retreating Glacier Fronts on the Antarctic Peninsula over the Past Half-Century. *Science*, 308, 22, p. 541-544.
- Drewry, D. *Glacial Geologic Processes*. Londres: Edward Arnold, 276 p. 1986.
- Elliston, G. R. (1973) Water movement through the Gornergletscher. *International Association of Scientific Hydrology Publication*, 95, pp.79-84.
- Ferrando, F.A.; Vieira, R.; Rosa, K.K. (2009). Sobre el calentamiento global en la Isla Rey Jorge: procesos y evidencias en el glaciar Wanda y su entorno. *Revista Informaciones Geográficas*, v.41, pp.25-40.
- Hock, R.; Hooke, R.LeB. (1993). Evolution of the internal drainage system in the lower part of the ablation area of Storglaciaren, Sweden. *GSA Bulletin*, 105 (4), pp.537-546.
- Hubberd, B.; Glasser, N. (2005). *Field Techniques in Glaciology and Glacial Geomorphology*. Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, 400 p.
- Jansson, P.; Hock, R.; Schneider, T. (2003). The concept of glacier storage - A review. *Journal Hydrology*, 282 (1-4), pp. 116-129.
- Kejna, M; Láska, K.; Caputa, Z. (1998). Recession of the Ecology Glacier in the period 1961 - 1996. In: Glowacki; Bednarek (Eds). *Polish Polar Studies*. 25th International Polar Symposium, Warszawa, pp. 121-128.
- Park, B.-K.; Chang, S.-K.; Yoon, H. I.; Chung, G, H. (1998). Recent retreat of ice cliffs, King George Island, South Shetland Islands, Antarctic Peninsula. *Annals Glaciology*, 27, pp. 633-635.
- Rakusa-Suszczewski, S. (1993). The maritime Antarctic coastal Ecosystem of Admiralty Bay. Warsaw, *Polish Academy of Sciences*, pp. 27-30.
- Rosa, K.K. (2008). *Formas e processos do ambiente de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology, Ilha Rei George, Antártica*. Dissertação (Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 139p.
- Rosa, K.K.; Vieira, R.; Ferrando, F.A.; Simões, J.C. (2009). Feições sedimentológicas e geomorfológicas do ambiente de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology, ilha Rei George, Antártica. *Pesquisas em Geociências (UFRGS)*, v.36, pp.315-326.
- Simões J.C.; Bremer, U.F. (1995). Investigations of King George Island ice cover using ERS-1/SAR and SPOT imagery. *Revista SELPER*, 11 (1-2), pp. 56-60.
- Simões, J.C.; Bremer, U.F.; Aquino, F.E.; Ferron, F.A. (1999). Morphology and variations of glacial drainage basins in King George Island icefield, Antarctica. *Annals of Glaciology*, 29, pp. 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, pp. 9-23.

Vieira, R.; Rossato, M.S.; Aquino, F.E.; Simões, J.C. (2005). Feições morfológicas associadas ao ambiente de deglaciação da geleira Ecology, ilha Rei George, Antártica.

Revista Brasileira de Geomorfologia, 6 (2), pp. 51-60.

Vogt, S.; Braun, M. (2004). Influence of glaciers and snow cover on terrestrial and marine ecosystems as revealed by remotely-sensed data. *Revista Pesquisa Antártica Brasileira*, v.4, pp. 105-118.