

Mudanças climáticas regionais e seus reflexos nas variações da frente da geleira Polar Club, Península Potter, Ilha Rei George entre 1986 e 2009

André Medeiros de Andrade¹
Everton Luís Poelking¹
Carlos Ernesto G. R. Schaefer¹
Elpídio Inácio Fernandes Filho¹
Flávio Barbosa Justino¹

¹Universidade Federal de Viçosa - UFV
CEP 36570-000 - Viçosa - MG, Brasil
{andre.andrade, carlos.schaefer, elpidio, fjustino}@ufv.br
evertonpoelking@yahoo.com.br

Abstract. The cryosphere includes the landsurface permanently covered by snow and ice, such as glaciers. Environmental changes can result in broad global consequences, and studies of glaciers from polar regions are strategic as sensitive areas to climate changes. We analyzed the intra-seasonal variability of air temperature and correlated with the changing rates of Polar Club Glacier retreat, at Potter Peninsula, King George Island. We used a series of nine scenes of Landsat satellite images and atmospheric temperature data from 1986 to 2009. The results showed a consistent retreat over the past 22 years of the Polar Club Glacier front, resulting in an increase of 120.47 ha of ice-free area in Potter Peninsula alone. We further revealed that during the period of 24 years studied there was increase in temperature of 1.64°C in the autumn temperatures, 1.58°C in spring time temperatures, 0.7°C in winter and 0.47°C in summer. The results for the melting of the Polar Club glacier are not matched with previous results from other studies already developed in similar dome glaciers on King George Island. The changes observed for the Polar Club glacier between 1986 and 2008 have close links with the various components of the landscape, such as thickness of ice cover and basal water temperature. The series of atmospheric temperatures is not sufficient to explain the variation observed for the Polar Club glacier front on Potter peninsula.

Palavras-chave: Remote Sensing, Maritime Antarctic, Glacial Retreat, Sensoriamento Remoto, Antártica Marítima, Retração Glacial.

1. Introdução

A Península Antártica é uma zona de transição, onde as configurações climáticas variam entre um norte com características de clima temperado e influenciado pelo polo sul e entre a costa polar marítima no oeste e uma costa continental ao leste. Decorrente destas condições climáticas peculiares e por sua posição atuando como barreira física à circulação na troposfera, a Península Antártica representa uma área de alta sensibilidade às alterações climáticas, pois encontra-se em posição climática crítica, com temperaturas médias anuais ligeiramente inferiores a 0°C, em locais próximos ao nível do mar (Braun e Gossmann, 2002). As Ilhas Shetland do Sul devido à sua localização geográfica, próxima do limite setentrional do permafrost antártico, e da profundidade de sua camada de cobertura glacial possuem suas massas de gelo próximas ao ponto de fusão, em que pequenos incrementos na temperatura podem acarretar em alterações nos ambientes com consequências ao ecossistema das áreas livres de gelo (Arigony Neto et al, 2001; Vieira et al, 2010).

A porção peninsular da Antártica foi a que experimentou o maior aumento das temperaturas nas últimas décadas em todo planeta (Chwedorzewska, 2009), com aumento na temperatura média de aproximadamente 2,5°C nos últimos 50 anos (Turner et al, 2005).

Foram registradas nas últimas décadas tendências significativas de aumento na temperatura do ar na Península Antártica. Através de análises realizadas em longo prazo, constatou-se que as tendências de elevação da temperatura do ar são mais fortes durante o

inverno, entretanto, durante os meses de verão também ocorreu aumento na temperatura, porém com valores menos significativos (Braun e Gossmann, 2002).

As geleiras têm sido afetadas devido a estas mudanças climáticas, isto porque segundo Oerlemans e Fortuin (1992) as geleiras em climas marítimos são mais sensíveis às mudanças climáticas do que as geleiras localizadas em climas com características continentais. Vários estudos confirmam o processo de retração das geleiras ao longo das últimas décadas nas Ilhas Shetland do Sul e na Península Antártica (Braun e Gossmann, 2002; Ferron et al, 2004; Arigony Neto et al, 2001).

Não se pode apontar um único elemento como sendo o causador destes processos de retração das geleiras na Ilha Rei George, entretanto há fortes indícios de que estas mudanças nas geleiras foram iniciadas devido às mudanças climáticas (Braun e Gossmann, 2002) o que corrobora Park et al. (1998) e Kejna et al. (1998) que atribuem o recuo das geleiras ao aumento da temperatura média do ar da região.

Esta pesquisa consistiu na análise multitemporal de cenas do satélite Landsat 4-TM, Landsat 5-TM e Landsat 7-TM no período de 1986 a 2008, para identificar alterações na frente da geleira Polar Club relacionadas com as variações intra-sazonais de temperatura do ar na Península Potter, Ilha Rei George.

2. Materiais e Métodos

2.1. Caracterização da Área de Estudo

A área de análise denominada Península Potter, está localizada na Ilha Rei George (Figura 1) e faz parte do conjunto de ilhas pertencentes ao arquipélago das Ilhas Shetland do Sul, na Antártica Marítima. A Península Potter situa-se entre as coordenadas $62^{\circ}14'57''$ e $62^{\circ}15'50''$ latitude sul e $58^{\circ}37'33''$ e $58^{\circ}3'30''$ longitude oeste, tendo uma área de aproximadamente 800 ha. Grande parte dessa área é livre de gelo no período do verão. Em Potter está instalada a Estação Científica Jubany que opera desde 1982 e pertence à Argentina.

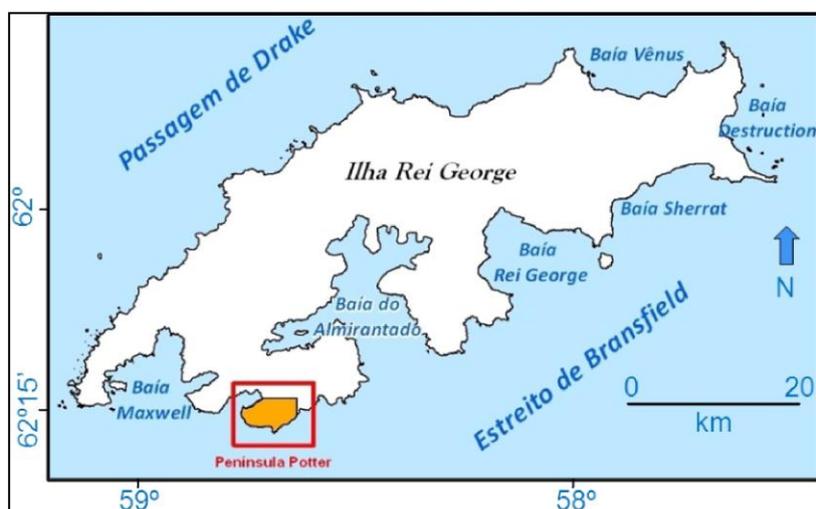


Figura 1: Localização da Península Potter na Ilha Rei George.

O clima da Ilha Rei George é muito influenciado pelos movimentos dos ciclones de oeste para leste, e segundo a classificação de Köppen é de regime ET, polar tipo tundra, com temperatura média anual de $-2,8^{\circ}\text{C}$, com variações no período do verão de $-1,3$ a $2,7^{\circ}\text{C}$ e no inverno de $-15,5$ a $-1,0^{\circ}\text{C}$ (Ferron et al, 2004). A Península Potter revela características bem marcadas de clima periglacial na zona litorânea. Durante o verão, devido à elevação da

temperatura, é ocasionado um intenso processo de degelo, o que acarreta mudanças na paisagem (Francelino et al, 2004).

2.2. Coleta dos dados Meteorológicos e as imagens de Satélites

Os dados meteorológicos utilizados compreendem janeiro de 1986 a dezembro de 2009 e foram gerados pelas Estações Meteorológicas da Base Jubany e da Base Frei e estão disponíveis no site www.tutiempo.net. Os dados de temperatura foram utilizados para analisar as tendências de mudanças climáticas regionais, fazendo uso do método da regressão linear e o *software* Excel. Foram selecionadas nove imagens digitais do satélite Landsat que foram utilizadas para delinear as taxas de variação da geleira Polar Club (Tabela 1).

Tabela 1: Informações das imagens Landsat utilizadas.

Satélite	Sensor	Data da imagem	Composição de bandas utilizada
Landsat 5	TM	28/01/1986	2, 3 e 4
Landsat 4	TM	16/02/1990	2, 3 e 4
Landsat 7	ETM+	10/12/1999	2, 3 e 4
Landsat 7	ETM+	31/12/2001	2, 3 e 4
Landsat 7	ETM+	28/01/2003	2, 3 e 4
Landsat 7	ETM+	09/02/2005	2, 3 e 4
Landsat 7	ETM+	21/02/2006	2, 3 e 4
Landsat 7	ETM+	14/01/2007	2, 3 e 4
Landsat 7	ETM+	17/01/2008	2, 3 e 4

2.3. Classificação e delimitação da variação na frente da geleira Polar Club

As imagens foram georreferenciadas e recortadas com o limite da Península Potter. O mapa contendo as taxas de variação da geleira Polar Club foi obtido através de uma classificação supervisionada das imagens Landsat, utilizando-se o classificador Maxver do *software* IDRISI. As classes temáticas foram agrupadas em: água, área livre de gelo e gelo.

Devido a não disponibilidade de imagens que abrangessem todos os anos entre 1986 a 2008, usou-se como critério empregar como referência o limite da geleira no ano de 1986 como base para as análises de variabilidade. Assim as taxas de variação da geleira nos outros anos são referentes à diferença ao sobrepor o limite da geleira em 1986 com o limite gerado das imagens dos outros anos disponíveis.

3. Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta a série de temperaturas médias anuais da Península Potter durante o período de 1986 a 2009 e os valores de áreas livres de gelo obtidos através do mapeamento da variação da frente da geleira Polar Club, resultante da classificação das imagens Landsat e tomando como referência a frente da geleira de 1986.

A variação sazonal no comportamento da temperatura atmosférica na série considerada, entre 1986 a 1995 apresenta ciclos trianuais, bem delimitados e com variações bruscas no valor de temperatura. A partir de 1986 o comportamento dos ciclos de variação da temperatura passa a ser assimétrico, porém as variações nos valores de temperatura são menores.

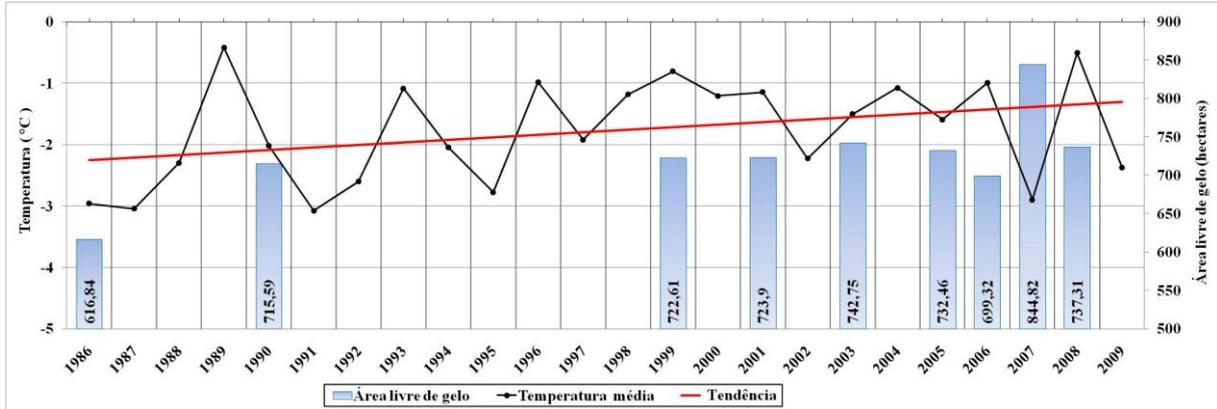


Figura 2: Temperatura média da Península Potter durante o período de 1986 a 2009 e áreas livres de gelo.

Os resultados obtidos de áreas livres de gelo apresentam a variação que não é diretamente relacionada com os valores de temperatura. Pode-se destacar o ano de 2007 que teve a menor temperatura da atual década e foi o ano que apresentou o maior valor de área livre de gelo de todo o período estudado. Ressalta-se que a imagem foi obtida em janeiro do mesmo ano, porém como visto na Figura 4 a primavera do ano anterior apresentou-se com temperaturas acima da média quando comparado com os outros anos. Juntamente com isso os dados de precipitação apresentam-se com valores próximos à média. As variações da frente de geleira são resultados das condições climáticas, de temperatura e precipitação das estações que precedem esses períodos.

A Figura 4 apresenta os dados de precipitação anual e os valores de temperatura atmosférica agrupados por estações do ano.

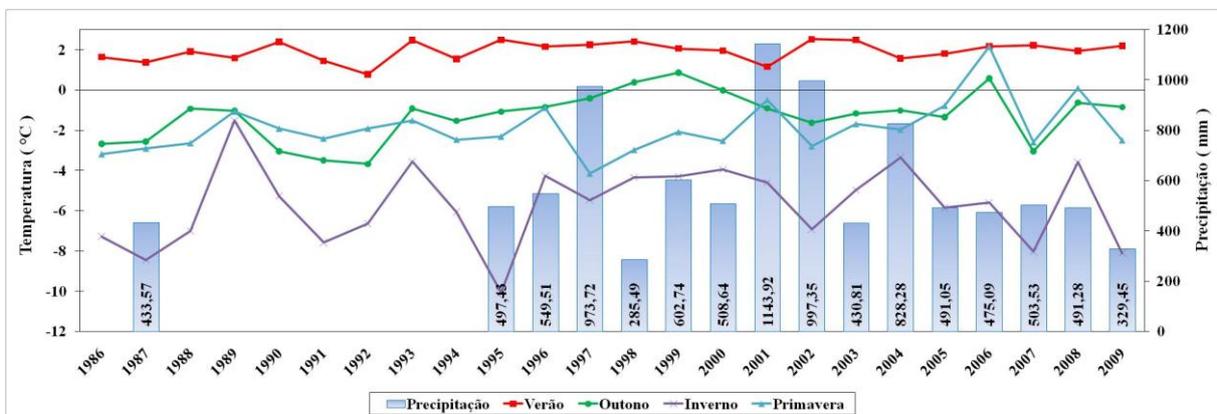


Figura 4: Temperatura média por estações do ano da Península Potter durante o período de 1986 a 2009 e valores de precipitação anual.

Através de análises estatísticas aplicadas aos dados de temperatura atmosférica da série temporal utilizada neste trabalho constatou-se que a temperatura média na Península Potter vem sofrendo variações ao longo do tempo. Com o agrupamento dos dados de temperatura por estações do ano, foi observada uma maior tendência de aumento para o outono com acréscimo de $0,068^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, pouco mais que a primavera que apresenta o valor de $0,066^{\circ}\text{C}/\text{ano}$. O verão foi a estação que apresentou o menor valor de aumento na temperatura com $0,02^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, valor pouco menor do que o do inverno, que obteve $0,029^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ de acréscimo na temperatura. Estes valores de acréscimo na temperatura são referentes ao período estudado. Quando considerado os 24 anos da série de dados atmosféricos analisados foi constatado um incremento na temperatura de $1,64^{\circ}\text{C}$ no outono, $1,58^{\circ}\text{C}$ na primavera,

0,70°C no inverno e 0,47°C no verão. A variação nas temperaturas médias no inverno nessa série de dados é maior se relacionada com a primavera e outono. A estação do verão apresenta pouca variação.

Com o processo de classificação supervisionada das imagens Landsat nas bandas 2, 3 e 4 foi possível separar as classes de cobertura da superfície e gerar um mapa contendo as áreas onde houve variação na frente da geleira durante o período analisado (Figura 5).

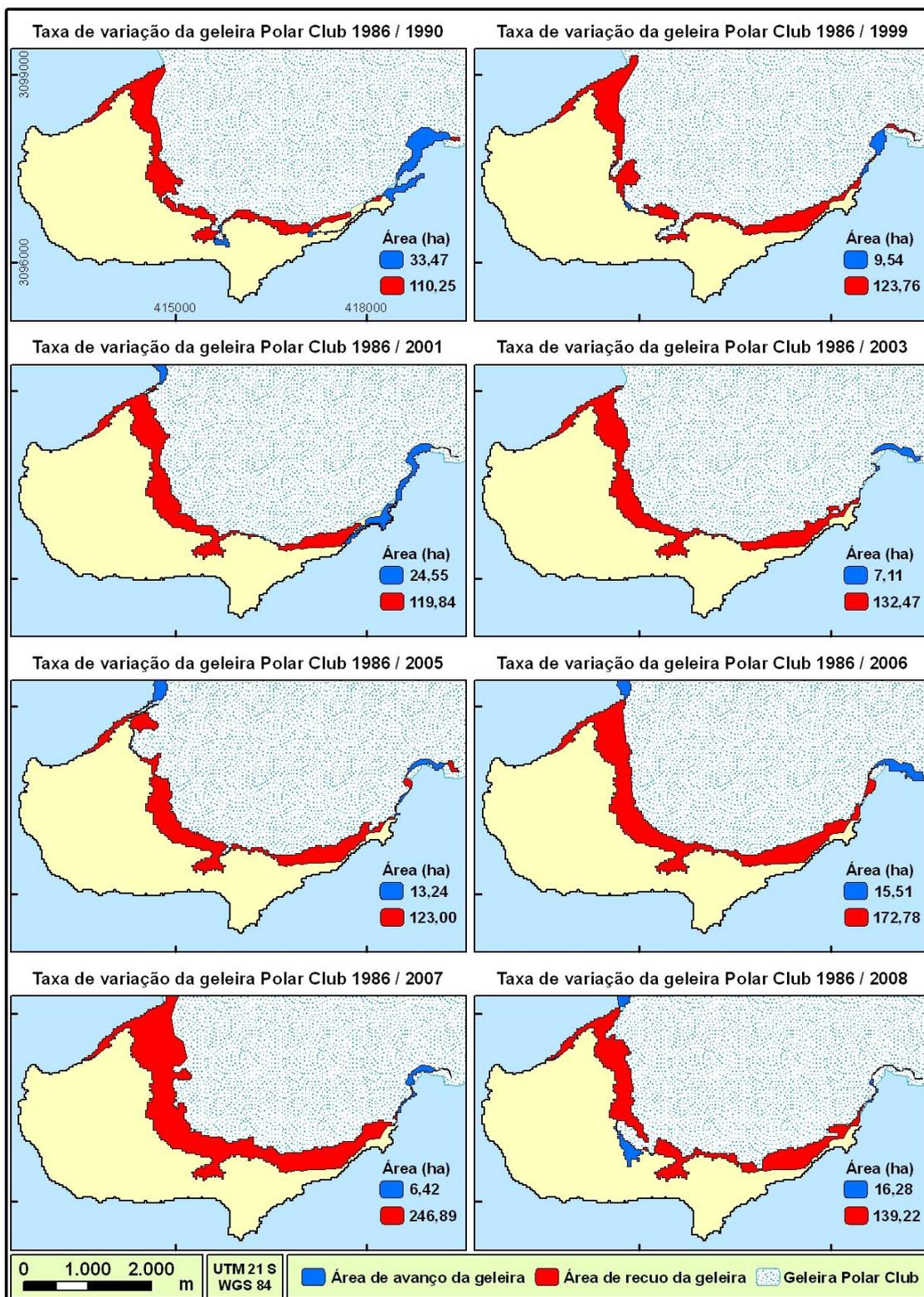


Figura 5: Taxas de variação da geleira Polar Club durante o período de 1986 a 2008.

Os valores de *Kappa* obtidos a partir das classificações das nove imagens foram iguais a 0,72, 0,77, 0,85, 0,91, 0,89, 0,94, 0,88, 0,91 e 0,84 para o ano 1986, 1990, 1999, 2001, 2003, 2005, 2006, 2007 e 2008 respectivamente. Os valores de *Kappa* obtidos foram satisfatórios.

É perceptível que os valores nas taxas de recuo são mais expressivos do que os valores referentes aos de avanço da geleira. O maior valor de recuo registrado foi em 2007 tendo sido recuado uma área de 246,89 ha, em contrapartida o maior valor de avanço foi em 1990 com uma área de 33,47 ha. Tomando como base os oito anos analisados tem-se uma média de 15,76 ha de avanço por ano e média de 150,42 ha de recuo por ano da geleira. Obteve-se que a área livre de gelo no ano de 1986 era de 616,84 ha enquanto no ano de 2008 a área livre de gelo atingiu o valor de 737,31 ha. Com base nestes valores constata-se que ao longo dos últimos 22 anos houve um recuo da frente da geleira Polar Club que resultou no aumento de 120,47 ha de área livre de gelo na Península Potter.

Os resultados obtidos neste trabalho relativos às taxas de variação da geleira Polar Club, não são condizentes com resultados obtidos através de outros estudos já desenvolvidos em outras geleiras na Ilha Rei George. De acordo com Braun e Gossmann (2002) as condições meteorológicas e as mudanças na circulação atmosférica são elementos preponderantes na modificação dos sistemas de geleiras da Ilha Rei George, com a Dragon, Krak, Pandereski e Wanda. Já para a Península Potter não se pode atribuir somente à temperatura atmosférica a causa das variações da geleira Polar Club.

O estudo desenvolvido foi realizado tomando como referência imagens de satélite, sendo que as informações dos limites foram levantadas e fixas de acordo com data de obtenção da imagem. Os valores obtidos de avanço e recuo podem não ser o máximo ou mínimo para o ano em questão, isto porque uma imagem de dezembro, apresenta o início do processo de derretimento da geleira, alcançando o derretimento o seu patamar máximo em março do ano subsequente. Desta maneira, os valores obtidos neste trabalho são estimativas aproximadas do limite máximo da frente da geleira.

Esta dinâmica de recuo das geleiras da Península Antártica e nas Ilhas Shetland do Sul são detectadas desde a década de 1950 (Wunderle, 1996 citado por Braun e Gossmann, 2002). Segundo Braun e Gossmann (2002) entre os anos de 1956 a 1995 houve uma retração da geleira Polar Club de 10% em sua área. Outras geleiras como a Dragon, Krak, Pandereski e Wanda apresentaram taxas de retração com valores superiores ao apresentado pela geleira Polar Club neste mesmo período de tempo, com destaque para as geleiras Dragon e Krak que tiveram retração de 36% e 28% respectivamente de suas áreas.

Conforme constata Braun e Gossmann (2002), as geleiras localizadas nas Ilhas Shetland do Sul ao longo do período observado não apresentaram padrões semelhantes de reação, algumas recuaram muito e outras menos, havendo até a ocorrência de geleiras que se mantiveram estáveis.

Os processos de avanço e recuos localizados são possivelmente resultantes da acomodação e do rearranjo das forças internas da geleira (Braun e Gossmann, 2002). No entanto a recarga por precipitação de neve também é responsável por esses eventos.

4. Conclusões

O Comportamento da variação da frente da geleira Polar Club entre 1986 e 2008 possui uma complexa relação com diferentes elementos da paisagem, como espessura da cobertura de gelo, temperatura da água, relevo e as forças de empuxo, sendo que a série de temperatura atmosférica não é suficiente para explicar a variação apresentada da frente da geleira na Península Potter.

O uso das ferramentas do Geoprocessamento e de imagens de satélite como a Landsat se mostraram eficazes para alcançar o objetivo deste trabalho. Por meio das técnicas do sensoriamento remoto e fazendo uso de imagens de satélite que são disponibilizadas

gratuitamente, torna-se possível monitorar a dinâmica das geleiras existentes na Península Antártica.

O sensoriamento remoto permite a detecção de mudanças ambientais em grandes áreas, inclusive as de difícil alcance. Trabalhos de acompanhamento da posição das frentes das geleiras no decorrer de várias décadas é um bom exemplo da utilidade do sensoriamento remoto para gerar dados referentes à Península Antártica.

Em futuros trabalhos pretende-se realizar este mesmo tipo de análise multitemporal utilizando imagens de satélite para monitoramento de outras geleiras da Península Antártica. A partir de um conjunto trabalhos será possível avaliar melhor as consequências das variações sofridas pelas geleiras e poder correlacionar com outros fatores que possam causar estes efeitos na Península Antártica.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), e ao Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR).

6. Referências Bibliográficas

Arigony Neto, J.; Bremer, U. F.; Simões, J. C. **Variações nas frentes de gelo da Enseada Martel, Ilha Rei George, Antártica, entre 1956 e 2000.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, n. 10, 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 709-711.

Braun, M.; Gossmann, H. **Glacial changes in the areas of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, maritime Antarctica.** In: Beyer, L.; Bölter, M. (Ed). *Geocology of Antarctic ice-free coastal landscapes.* Berlin: Springer-Verlag. 75-89. 2002.

Chwedorzewska K. J. (2009) Terrestrial Antarctic ecosystems in the changing world: an overview. *Polish Polar Res* 30:263–276

Ferron, F. A.; Simões, J. C.; Aquino, F. E.; Setzer, A. W. **Air temperature time series for King George Island, Antarctica.** *Pesquisa Antártica Brasileira*, 4: 155-169. 2004

Francelino, M. R.; Schaefer, C. E. G. R.; Fernandes Filho, E. I.; Albuquerque Filho, M. R. de; Simas, F. N. B.; Moreira, G. F. 2004. Geofomas da Península Keller, Antártica marítima: subsídios ao monitoramento ambiental. In: Schaefer, C. E.; Francelino, M. R.; Simas, F. N. B.; Albuquerque Filho, M. R. de. (Ed). **Ecosistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George.** Viçosa: NEPUT, 2004. p. 15-25.

Kejna, M.; Láska, K.; Caputa, Z. **Recession of Ecology Glacier (King George Island) in the period 1961-1996.** *Polish Polar Studies 25th International Symposium, Warszawa.* Institute of Geophysics of the Polish Academy of Sciences, Warszawa, p. 121-128. 1998.

Oerlemans, J; Fortuin, J. P. F. **Sensitivity of Glaciers and Small Ice Caps to Greenhouse Warming.** *Science*, 258:115-117. 1992.

Park, B. K.; Chang, S. K.; Yoon, H. I.; Chung, H. **Recent retreat of ice cliffs, King George Island, South Shetland Islands, Antarctic Peninsula.** *Ann Glaciol.* 27:267-274. 1998.

Turner, John; Colwell, Steve R.; Marshall, Gareth J.; Lachlan-Cope, Tom A.; Carleton, Andrew M.; Jones, Phil D.; Lagun, Victor; Reid, Phil A.; Iagovkina, Svetlana. 2005 **Antarctic climate change during the last 50 years.** *International Journal of Climatology*, 25 (3). 279-294

Vieira, G., Bockheim, J., Guglielmin, M., Balks, M., Abramov, A. A., Boelhouwers, J., Cannone, N., Ganzert, L., Gilichinsky, D. A., Goryachkin, S., López-Martínez, J., Meiklejohn, I., Raffi, R., Ramos, M., Schaefer, C.,

Serrano, E., Simas, F., Sletten, R. and Wagner, D. (2010). **Thermal state of permafrost and active-layer monitoring in the antarctic: Advances during the international polar year 2007–2009**. *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 182–197.

Warren, C. R. **Icebergs calving and the glaciomarine Record**. *Progr Physic Geogr* 16:253-282. 1992.