

## Variações nas áreas livres de gelo em View Point, Península Trinity, Antártica, entre 1988 e 2016.

Maria Eliza Sotille<sup>1</sup>  
Ulisses Franz Bremer<sup>1</sup>  
Jefferson Cardia Simões<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Polar e Climático, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS  
Av. Bento Gonçalves, 9500 - 91501-970 - Porto Alegre – RS, Brasil

maria.sotille@ufrgs.br  
bremer@ufrgs.br  
jeffersonsimoes@ufrgs.br

**Abstract.** View Point, at the north tip of the Trinity Peninsula, Antarctica, has undergone changes in its ice-free area and in the air temperature over the last decades. Aiming to identify variation in its ice-free area we conducted a survey of the changes over 28 years (1988-2016) by using remote sensing techniques. The study used Landsat images to identify variations of ice-free area by using VIS, NIR e SWIR bands to differentiate ice and snow from rocks, which in Antarctica can be a problem due cloud cover and shaded areas. During this period, there was an increase of approximately 117% in the ice-free areas, we compared this changes with variations in the mean air temperature in the summer, which shows an increase of approximately 1.85°C in the summer for the past 51 years (1966–2016), according to data from the Antarctic base Esperanza (Argentina, 63°23'S 56°59'O), obtained from the READER portal (SCAR).

**Palavras-chave:** remote sensing, Antarctica, ice-free areas, climate change, sensoriamento remoto, Antártica, áreas livres de gelo, mudanças climáticas.

### 1. Introdução

Diferenciar áreas livres de gelo de áreas cobertas por neve e/ou gelo é uma importante tarefa em estudos antárticos, identificar e mapear essas áreas torna possível monitorar mudanças ocorridas nestes ambientes e verificar eventuais respostas destes às mudanças climáticas.

A maior parte do continente antártico é coberta por neve e gelo, de acordo com o Serviço Antártico Britânico (BAS) menos de 0,2% do continente é composto por áreas com rocha exposta, sendo que áreas costeiras se tornam livres de neve e gelo devido ao derretimento dos meses de verão.

Na Península Trinity, as áreas livres de gelo são escassas e restritas a poucos promontórios (TILBROOK, 1967), porém considera-se que essas podem se expandir em função de um clima mais quente (FASSNACHT, 2012). Em áreas como as do norte da Península Antártica (PA), especialmente, as mudanças ocorridas nas últimas décadas faz surgir a necessidade de melhorar o mapeamento e o monitoramento da variabilidade das áreas livres de gelo, podendo auxiliar no aprimoramento do banco de dados disponibilizado pelo Comitê Científico de Pesquisa Antártica (SCAR) através do ADD (Antartic Digital Database), onde erros de classificação nas áreas livres de gelo são frequentes.

Assim, esse trabalho visa verificar uma metodologia para classificar as áreas livres de gelo, podendo posteriormente ser aplicada para áreas maiores, bem como apontar as mudanças ocorridas na área de estudo e verificar a influência das variações de temperatura de ar nas variações do ambiente.

### 1.1 Área de Estudo

View Point ( $63^{\circ}33'S$ ,  $57^{\circ}22'O$ ) (Fig. 1) é um promontório situado no extremo norte da Península Trinity, na Península Antártica, na entrada oeste da Baía Duse e nas proximidades do platô Laclavère. A área possui aproximadamente  $15 \text{ km}^2$  tendo cerca de 6 km de comprimento e 2,5 km de largura, a altitude da área varia de nível do mar na costa até 350m nas áreas mais a oeste. A área foi escolhida devido às mudanças recentes ocorridas no ambiente norte da Península Trinity.

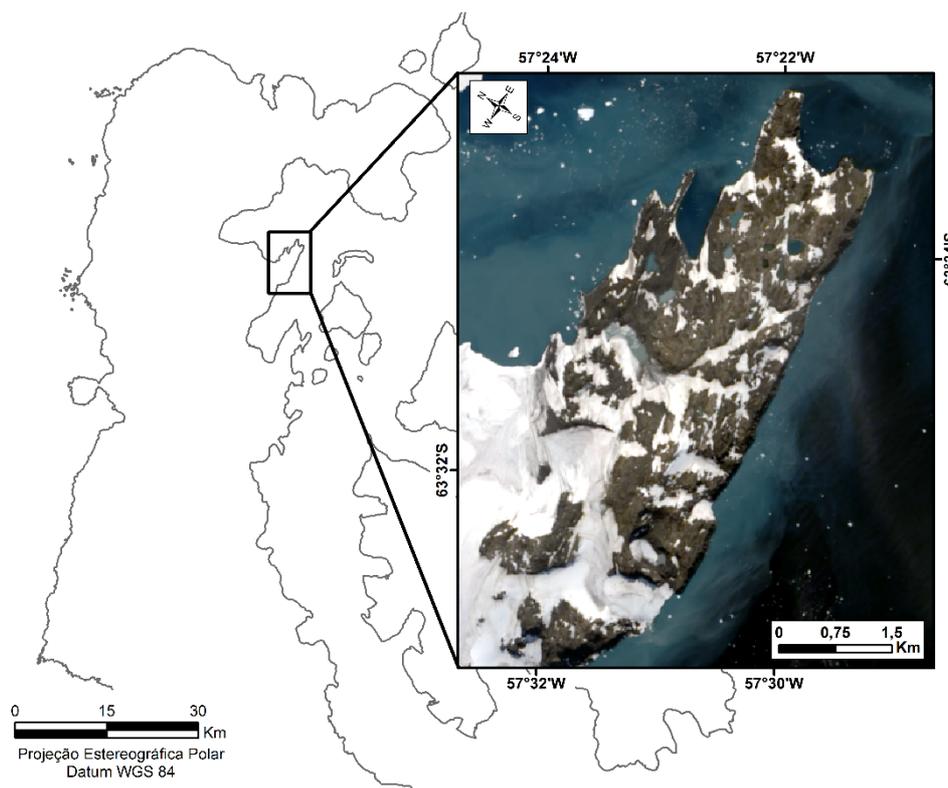


Figura 1. Localização da área de estudo no norte da Península Trinity, na Península Antártica.

### 2. Metodologia de Trabalho

Para realizar o mapeamento foram escolhidas imagens do satélite Landsat (Tab. 1), dos sensores TM, ETM+ e OLI/TIRS para os anos de 1988, 2000 e 2016, respectivamente. As cenas foram adquiridas durante o período de ablação (período de derretimento de gelo), potencializado durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Todas as imagens foram adquiridas gratuitamente através do visualizador USGS GloVis, do Serviço Geológico dos Estados Unidos.

Tabela 1. Cenas do satélite Landsat selecionadas para o estudo.

Satélite	Sensor	Data da Imagem	Nuvens (Máx)
Landsat 4-5	TM	29/02/1988	20%
Landsat 7	ETM+	29/02/2000	21%
Landsat 8	OLI/TIRS	02/02/2016	4%

As imagens passaram por etapas de pré-processamento, com fusão de bandas, reprojeção das cenas para a projeção Estereográfica Polar (3031) e recorte da área de estudos. Os

números digitais das imagens foram corrigidos para reflectância aparente, ou de topo da atmosfera (TOA), a correção para reflectância de superfície não foi realizada devido à dificuldade de modelos de correção atmosférica adequados para o ambiente antártico. O georreferenciamento foi realizado através do co-registro de imagens, a base para o registro foi o mosaico do LIMA (Mosaico de Imagens Landsat da Antártica) já georreferenciado. Foram selecionados uma série de 10 pontos de controle de fácil identificação, distribuídos por toda a área de estudo e restritos à áreas livres de gelo. Os valores de RMS (Erro Médio Quadrático por pixel) de cada imagem foram menores de 0,50.

Para confrontar as variações de área livre de gelo com as variações de temperatura do ar, dados de médias mensais de temperatura do ar foram obtidos para a área no período do verão entre 1988-2016 (Tab. 2) e entre 1966-2016. Os dados foram adquiridos através do projeto READER (Reference Antarctic Data for Environmental Research) do SCAR, e organizados em tabelas, gerando-se gráficos com as temperaturas médias dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, para os dois períodos. Todos os dados são provenientes da base antártica Esperanza, da Argentina (63°23'S 56°59'O), localizada nas proximidades da área de estudo, na entrada da Baía Esperança, ou Hope Bay, em altitude de 13m.

Tabela 2. Exemplo dos dados de média de temperatura do ar adquiridos através do READER.

Período	Base	Temperatura média do ar		
		Dez	Jan	Fev
1987-1988	Esperanza	1,5	0,4	1,6
1999-2000	Esperanza	2	1,2	2,5
2015-2016	Esperanza	1,4	1,3	0,9

## 2.1 Obtenção das áreas livres de gelo

As áreas livres de gelo foram obtidas através de classificação supervisionada de bandas do VIS, NIR e SWIR, na composição de bandas RGB 543 para os sensores TM e ETM+ e RGB 654 para o OLI/TIRS. Nesta composição falsa-cor as áreas de rocha aparecem com maior destaque, sendo apresentas em tons vermelhos, já o gelo limpo de geleira e a neve se apresentam em uma cor que vai de azul-claro a ciano. Essa composição possibilita distinguir a neve e o gelo das nuvens ou rochas devido à diferença na reflectância do gelo e da neve no VNIR e SWIR (Fig. 2) em comparação com os outros materiais.

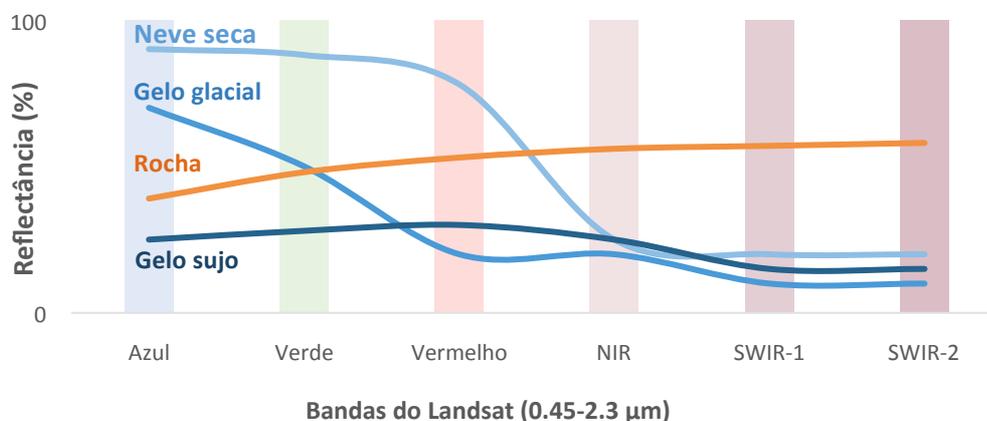


Figura 2. Curvas de reflectância da neve, gelo e rocha.

Foram selecionadas, neste procedimento, 5 classes de interesse, visando obter uma discriminação entre neve/gelo, gelo sujo, oceano, rocha e sombra. Estas classes foram obtidas em cada imagem sendo que o número de amostras adquiridas para cada classe foi de 10.

O classificador utilizado foi o da máxima verossimilhança (MAXVER), que consiste na classificação da imagem ponto a ponto, a partir de classes estabelecidas pelo usuário. (ROSA, 2009). Este método no formato “pixel a pixel” considera a ponderação das distâncias entre as médias dos níveis digitais das classes das amostras de treinamento, que são obtidas de um conjunto de pixels que representam um tipo específico de alvo com características espectrais comuns entre si (NOVO, 2011).

As classificações foram realizadas no software ArcMap 10.3 através da ferramenta Maximum Likelihood Classification, e os valores obtidos no índice Kappa foram de 0,91, 0,87, 0,95 para os anos 1988, 2000 e 2016 respectivamente. Segundo Landis e Koch (1977) valores entre 0,8 e 1 são considerados satisfatórios.

As classificações passaram pela aplicação de filtragem através da ferramenta “Filtro Predominante” (Majority Filter) do ArcMap 10.3, que visa suavizar e eliminar dados errôneos da cena ao reduzir o número de pixels isolados. Este filtro utiliza uma máscara para realizar uma varredura na imagem, pixel a pixel, agrupando os pixels isolados de acordo com as informações dos pixels vizinhos, neste trabalho utilizou-se uma janela 3x3, para suavizar as bordas e melhorar as imagens classificadas esteticamente. Posteriormente, as imagens foram transformadas em vetores.

Por fim, outros produtos de sensoriamento remoto foram utilizados para a correções manuais nos dados, utilizando-se de imagens NDSI para auxiliar na delimitação dos alvos, e ainda, a banda do SWIR para melhor identificar e discriminar as áreas com nuvens.

## **2.2 Medição das áreas livres de gelo**

As áreas foram medidas com base nos arquivos vetoriais, gerados a partir das classificações, a criação de polígonos das áreas livres de gelo possibilitou a obtenção das medidas das áreas para cada um dos anos investigados (1988, 2000 e 2016), optou-se por utilizar a medição em km<sup>2</sup>.

## **2.3 Verificação das médias de temperatura do ar da região**

Os dados de temperatura foram analisados para o intervalo condizente com o das imagens, período de 1988 a 2016, bem como para um intervalo maior, de 51 anos, entre 1966 e 2016.

Como os dados para a área contemplam apenas médias mensais, sem dados diários de temperatura, foram calculadas as médias de temperatura para o período do verão de cada ano, bem como as médias para cada mês deste período. Ressalta-se que para o mês de dezembro o dado utilizado no intervalo é o do ano anterior.

Foram acrescentadas linhas de tendência linear e polinomial aos dados. A linha de tendência linear geralmente mostra que algo está aumentando ou diminuindo com uma taxa fixa, já a linha de tendência polinomial mostra os aumentos e as diminuições, sendo utilizada quando existe flutuação dos dados, a ordem da polinomial pode ser dada pelo número de flutuações nos dados ou pela quantidade de picos e vales que aparecem na curva, obteve-se por usar linha polinomial de ordem 5.

## **3. Resultados e Discussão**

A classificação supervisionada obteve resultados satisfatórios, sendo possível mapear automaticamente a área através de bandas do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas (Fig. 3). A composição de bandas RGB 543 (TM e ETM+) e RGB 654 (OLI/TIRS) mostrou-se adequada para a classificação.

Os maiores erros da classificação se deram em função das áreas com nuvens, como já previsto essas áreas foram, muitas vezes, associadas às áreas livres de gelo, sendo necessária uma correção desses dados, a fim de eliminar as áreas com classificações errôneas. Devido ao fato de a maior parte das imagens selecionadas conterem baixa cobertura de nuvens, ou estas estarem localizadas fora da área de estudo, a correção dos dados foi facilitada, ressalta-se a importância do conhecimento visual e do comportamento espectral dos alvos da área pelo operador, evitando a má seleção ou exclusão de dados.

Outros erros menores de classificação se deram em função das áreas com rocha exposta, mas em áreas com sombra, nestas áreas também foi necessária uma correção manual.

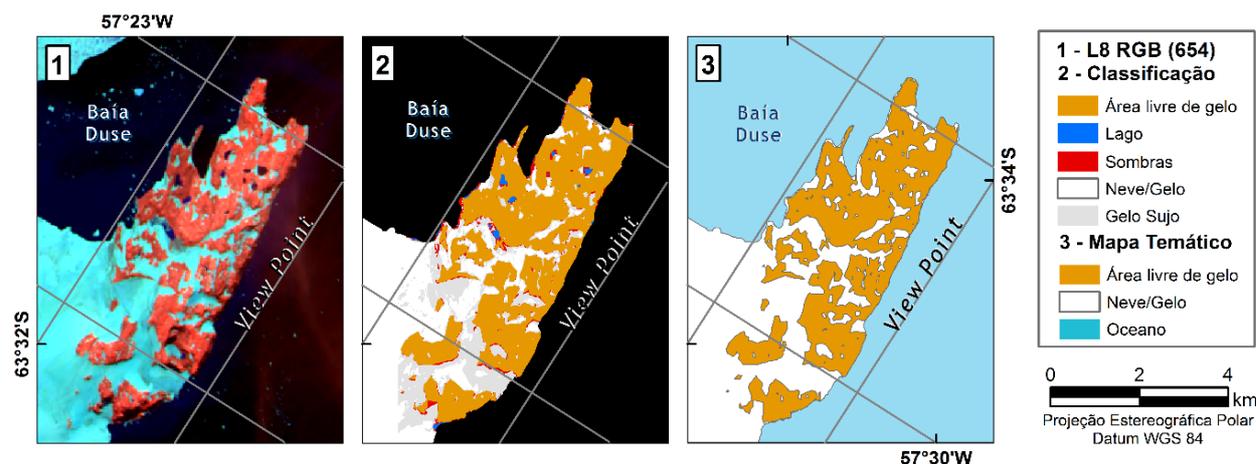


Figura 3. Classificação supervisionada RGB VIR/NIR/SWIR-2 visando delimitação de rochas da imagem 2016. (1), Classificação supervisionada (2) Mapa temático resultado da classificação (3) com as áreas livres de gelo.

### 3.1 Variação das áreas livres de gelo

Em View Point, a área com a presença de solo exposto que em 1988 representava  $\pm 5,8$  km<sup>2</sup> passou para  $\pm 13$  km<sup>2</sup> em 2000 (Fig. 4), mais que dobrando sua extensão em um período de 12 anos, um aumento significativo de 145%. No ano de 2016 a área livre de gelo obteve números similares ao do ano anterior, variando para  $\pm 11,5$  km<sup>2</sup>, um leve diminuição de  $\pm 11\%$ . No total entre 1988 e 2016 a área livre de gelo de View Point aumentou em 117%.

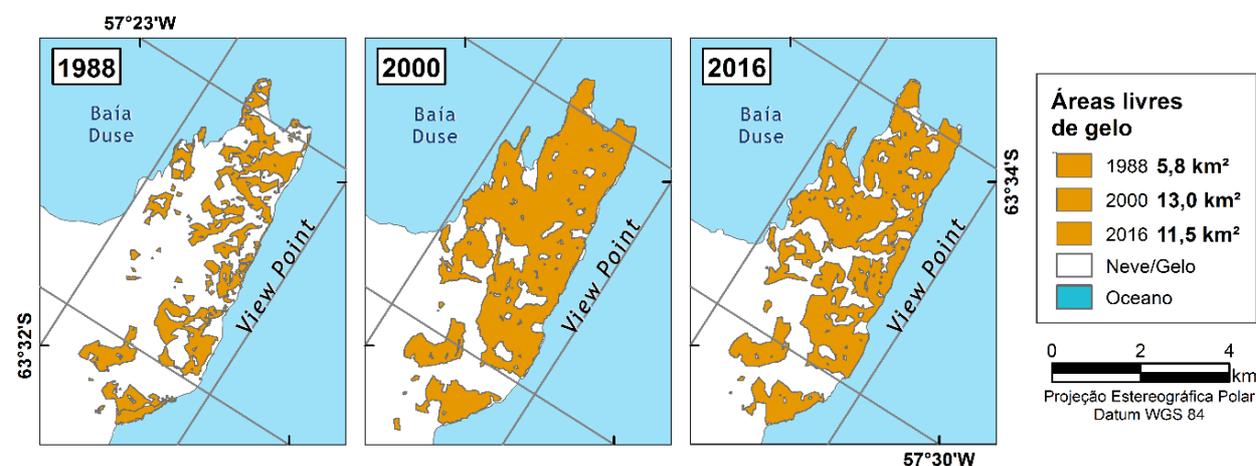


Figura 4. Variações nas áreas livres de gelo entre 1988 e 2016 em View Point.

### 3.2 Variação de temperatura da região

As temperaturas na Península Antártica durante os períodos de verão (dez-fev), são frequentemente acima dos 0°C (BARRAND *et al.*, 2013), em Esperanza, no extremo norte, observou-se temperaturas médias na faixa de -1,7°C a 3,5°C (Fig. 5). Médias negativas foram encontradas apenas para dezembro e fevereiro, em janeiro as médias ficaram acima de 0°C.

Linhas de tendência linear não apontaram mudanças significativas para os meses do intervalo. Já a linha de tendência polinomial apresenta um comportamento mais suave de transição entre as médias para dezembro e janeiro, com mudanças maiores para fevereiro, onde a média de temperatura diminuiu após 1990 e voltou a aumentar entre 1995-2008, passando então por períodos de intercalados, com diminuição e recente aumento.

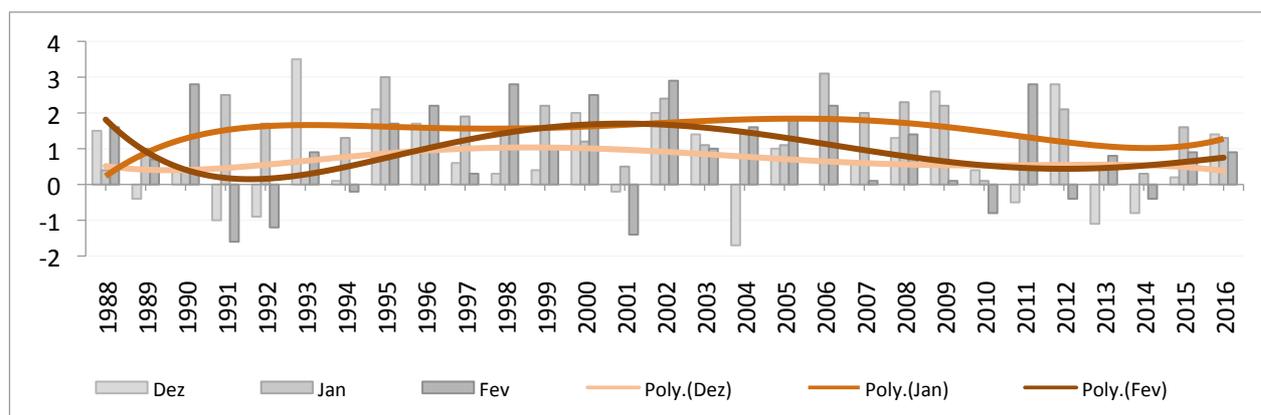


Figura 5. Variações das temperaturas de verão (dez-fev) na base Esperanza entre 1988 e 2016.

Nos anos das imagens de satélite, as médias mais elevadas de temperatura foram encontradas para o ano de 2000.

A investigação do intervalo 1966-2016 mostra aumento gradual das médias do início da série até 2002 (Fig. 6). Com tendência de aumento das médias em 0,36/10 anos, semelhante ao encontrado por Kejna (2003), de 0,35°C/10 anos para o período 1956-2000 em Esperanza.

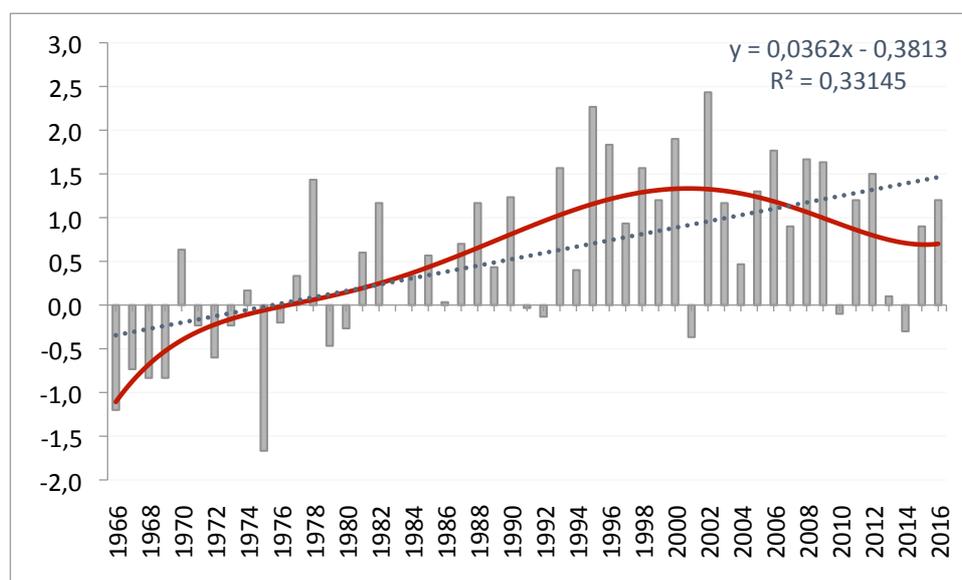


Figura 6. Variações das temperaturas de verão (dez-fev) na base Esperanza entre 1966 e 2016

### 3.3 Relação das variações das áreas livres de gelo e mudanças climáticas

Os resultados encontrados, em função das variações nas áreas livre de gelo, apresentam um aumento significativo da áreas após 1988, que apresenta média de temperatura do ar no verão de 1,2°C. Já entre 1988 e 2000 a área livre de gelo de View Point dobrou de tamanho, sendo esse aumento conjunto com o aumento de temperatura média do ar, que passou de 1,2°C para 1,9°C em 2000. No ano de 2016 a área recuou levemente, com a temperatura média do ar também apresentando diminuição de 0,7°C.

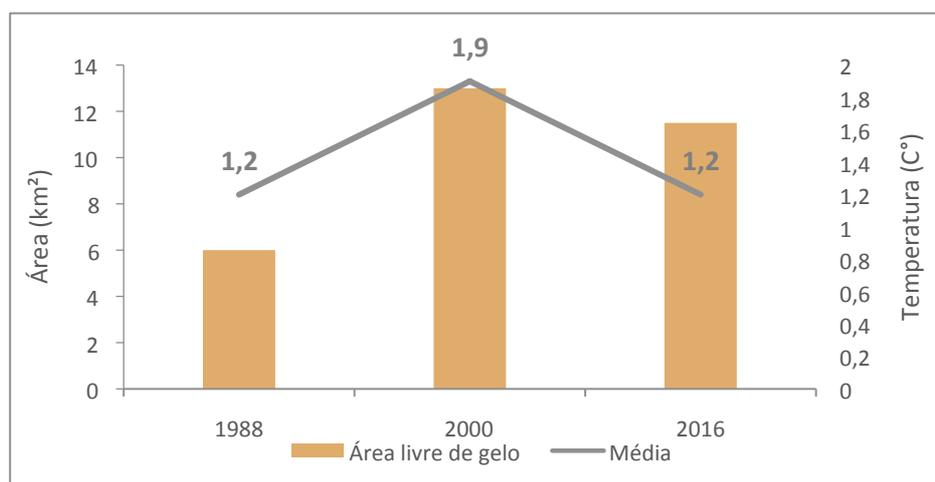


Figura 7. Média móvel de temperatura do ar para a base antártica Esperanza (ARG) no extremo norte da Península Antártica.

Esses dados, apenas, não explicam as mudanças ocorridas na área, levando ao entendimento que essas áreas possivelmente respondem às mudanças climáticas ocorridas anteriormente, percebe-se que nos anos de 1988 e 2016 as temperaturas médias do ar encontradas são iguais, porém, é por volta da década de 80 que ocorre o início do aumento das temperaturas médias do ar de verão em Esperanza acima de 0°C (Fig. 6), o que causa derretimento no gelo. Assim, estima-se que as mudanças das últimas décadas na temperatura média do ar de verão no extremo norte da Península Trinity apresentem ligação com o aumento das áreas livres de gelo em View Point.

### 4. Conclusões

Utilizando-se de dados do satélite Landsat foi possível a obtenção das áreas livres de gelo entre 1988 e 2016, e a criação de um mapa temático, cuja posterior transformação em vetores possibilitou a quantificação das variações ocorridas na área. A classificação-supervisionada das áreas livres de gelo mostrou-se complexa principalmente em áreas com maior cobertura de nuvens e em áreas com sombra.

A verificação dos dados de temperatura para a área auxiliou na discussão dos resultados, verificou-se que os aumentos nas temperaturas médias dos meses do verão dos anos das imagens se assemelham com os aumentos das áreas de gelo, e a diminuição de temperatura apontada em 2016 vem em conjunto com uma diminuição de área no intervalo. Seria, porém, interessante a obtenção de dados diários de temperatura, podendo verificar a quantidade de dias com temperaturas acima de 0°C dentro do período do verão.

Os resultados para o período 1988-2016 apontam para um aumento considerável das áreas livres de gelo, e de temperatura média do ar no verão entre 1966 e 2016.

## Referências Bibliográficas

### 4.1 Artigo em periódico

BARRAND, N.E.; Vaughan, D.G.; Steiner, N.; Kuipers Munneke, P.; van den Broeke, M.R.; Tedesco, M.; Hosking, J.S. Trends in Antarctic Peninsula surface melting conditions from observations and regional climate modeling. **Journal of Geophysical Research**. Earth Surface, v. 118, p. 1-16. 2013.

FASSNACHT, S.R., López-Moreno, J.I., Toro, M. and Hultstrand, D.M. Mapping snow cover and snow depth across the Lake Limnopolar watershed on Byers Peninsula, Livingston Island, Maritime Antarctica. **Antarctic Science**, v. 25(2), p. 157–166. 2013

KEJNA, M. Trends of air temperature of the Antarctic during the period 1958–2000. **Polish Polar Research**, v. 24, p. 99–126. 2003

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**. v. 33, n. 1. 1977.

### 4.2 Livro

NOVO, E.M. **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações**. 4ª Ed. Editora: Edgard Blucher. 2010

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7 ed. – Uberlândia: EDUFU, 2009. 264p

### 4.3 Capítulo de Livro

TILBROOK, P. J. Arthropod Ecology in the Maritime Antarctic. In: E Gressitt, J. L, **Entomology of Antarctica**, American Geophysical Union, 1967. cap. , p. 331–356.

### 4.4 Exemplos de Internet

ADD. SCAR **Antarctic Digital Database**. Version 6.0. Disponível em: <<http://www.add.scar.org/>> 2013

READER. SCAR **Reference Antarctic Data for Environmental Research**. Disponível em: <<https://legacy.bas.ac.uk/met/READER/>> 2016