

DETECÇÃO DE VARIAÇÕES NA SUPERFÍCIE DA GELEIRA GREY, CAMPO DE GELO PATAGÔNICO SUL, UTILIZANDO DADOS SAR COSMO-SKYMED

André Medeiros de Andrade ¹, Alice Cesar Fassoni-Andrade ², Ricardo Jaña ³, Inti Gonzalez ⁴, Jorge Arigony Neto ⁵

¹ Instituto de Ciências Agrárias – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Av. Universitária s/n, 38610-000, Unaí – Minas Gerais, andre.medeiros@ufvjm.edu.br; ² Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91501-970, Porto Alegre – Rio Grande do Sul, alice.fassoni@gmail.com; ³ Instituto Antártico Chileno, Plaza Muñoz Gamero, 1055, Punta Arenas – Chile, rjana@inach.cl; ⁴ Centro de Estudios del Cuaternario, Fuego-Patagonia y Antártica, Av. España, 184, Punta Arenas – Chile, inti.gonzalez@cequa.cl; ⁵ Instituto de Oceanografia – Universidade Federal do Rio Grande, Av. Itália km 8, Rio Grande – Rio Grande do Sul, jorgearigony@furg.br

RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar as variações nas zonas superficiais de neve e gelo da geleira Grey, localizada no extremo sul da América do Sul, utilizando dados SAR do satélite COSMO-SkyMed. Foram utilizadas sete cenas na banda X adquiridas entre outubro de 2011 e maio de 2012. Através da classificação pelo método estatístico da máxima verossimilhança foram delimitadas três classes de zonas superficiais da geleira: gelo exposto, neve úmida e transição entre neve úmida e gelo exposto. Foi possível distinguir variações na cobertura superficial da geleira Grey no período estudado, apresentando grande potencial para estudos em ambientes da criosfera. Os valores médios de retroespalhamento das classes são distintos e possibilitam a classificação da geleira, além de serem compatíveis aos valores encontrados em outros estudos.

Palavras-chave — sensoriamento remoto, radar de abertura sintética, geleiras.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the variations on the surface of the Glacier Gray, located in the South of South America, using COSMO-SkyMed SAR data. Seven scenes were used in the X band, obtained between October 2011 and May 2012. Through the classification by the maximum likelihood statistical method, three classes of glacier surface areas were delineated: bare ice, wet snow and transition between wet snow and bare ice. A distinction was made between the surface cover of the Gray Glacier in the analyzed period, with great potential for studies in cryosphere environments. The average backscatter values of the classes vary, however, the results obtained are compatible with the values found in other studies.

Key words — remote sensing, synthetic aperture radar, glaciers.

1. INTRODUÇÃO

O campo de gelo patagônico sul (CGPS) é composto por 48 bacias glaciais [1], sendo o maior campo de gelo no hemisfério sul fora a Antártica. Em geral, as frentes das geleiras terminam em lagos de água doce na porção leste ou em fiordes no Oceano Pacífico na porção oeste [2].

A maior parte das geleiras do CGPS possui a linha de equilíbrio entre 900 e 1200 m acima do nível do mar, tendo sido registrado entre 1944 e 1986 um intenso recuo das geleiras na ordem de 0,192 km²ano⁻¹ [3], tendo se mantido essa diminuição acentuada nas últimas décadas [4]. O estudo das geleiras temperadas, incluindo as do CGPS, é fundamental para se compreender os impactos das mudanças climáticas [1].

O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta para monitorar as variações superficiais do CGPS e outras regiões da criosfera. Os dados provenientes do radar de abertura sintética (SAR) são ideais para monitorar esses ambientes devido à capacidade de coletar dados em condições meteorológicas em que a maior parte dos sensores passivos não são capazes [5].

O objetivo desse trabalho foi estimar as variações nas zonas superficiais de neve e gelo da geleira Grey entre outubro de 2011 e maio de 2012 utilizando dados SAR do satélite COSMO-SkyMed.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O CGPS está localizado no extremo sul da América do Sul, estendendo por 350 km entre 48°20' e 51°30' S ao longo de 73°30' W [1]. A geleira Grey faz parte do CGPS e está localizada na porção sul (Figura 1).

A geleira Grey possui área de 261,6 km² [6], 28 km de comprimento, 167 km² de área de acumulação e 103 km² de área de ablação, além de estar orientada predominantemente na direção SE [1].

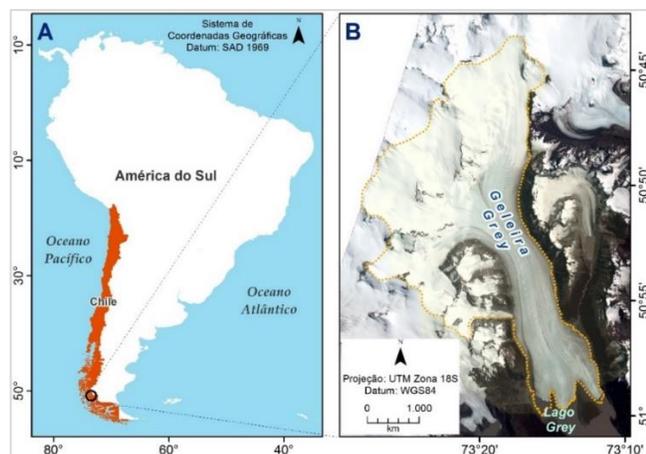


Figura 1. (A) Localização dos campos de gelo patagônicos no Chile e (B) destaque para a geleira Grey.

Para o desenvolvimento desse estudo foram utilizadas sete cenas do satélite COSMO-SkyMed adquiridas entre outubro de 2011 e maio de 2012, no modo *stripmap*, banda X (3 cm), resolução espacial de 5 m e modo de aquisição *himage* (Tabela 1). Também foi utilizada uma cena do satélite Landsat 8-OLI adquirida em 24/01/2015 para auxiliar na interpretação dos alvos superficiais.

Para a extração de dados físicos da superfície a partir da série de imagens, estas foram submetidas a três etapas de processamento: calibração radiométrica, filtragem do speckle e ortorretificação. Para reduzir o speckle foi utilizado o filtro de mediana com janela 5x5, que resultou na suavização do ruído e pouco interferiu nas bordas dos alvos. Para a ortorretificação utilizou-se o modelo digital de elevação ASTER GEDEM que engloba a área de estudo.

Tabela 1. Informações sobre as cenas do satélite COSMO-SkyMed utilizadas nesse estudo.

Data de aquisição	Polarização	Órbita
04/10/2011	VV	Descendente
03/11/2011	VV	Descendente
02/01/2012	VV	Descendente
02/02/2012	VV	Descendente
02/03/2012	VV	Descendente
01/04/2012	VV	Descendente
01/05/2012	VV	Descendente

Para delimitar as zonas superficiais da geleira, foi utilizado o classificador estatístico de máxima verossimilhança (maxver). Esse método define a probabilidade de um pixel pertencer a uma classe específica, com base em amostras extraídas das imagens representando cada classe [7]. A interpretação das amostras e das classes foi baseada nos alvos reconhecidos nas imagens COSMO-SkyMed, Landsat 8-OLI e do Google Earth Pro. Para a classificação foram definidas três classes: Gelo exposto,

Neve úmida, e transição entre neve úmida e gelo exposto. As classes foram definidas com base nos valores de retroespalhamento [8].

A partir da classificação maxver foram delimitadas as zonas superficiais da geleira Grey entre outubro de 2011 e maio de 2012. Com o intuito de remover os pixels espúrios e não representativos foi aplicado o filtro de passa baixas de mediana com máscara de 5x5 pixels nos produtos da classificação. Nessa operação, o pixel central da máscara foi substituído pelo valor mediano dos pixels vizinhos, resultando na melhoria visual dos dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 exibe as sete imagens COSMO-SkyMed submetidas às etapas de processamento. As Figuras 2d e 2e possuem uma porção em branco decorrente do não imageamento do satélite.

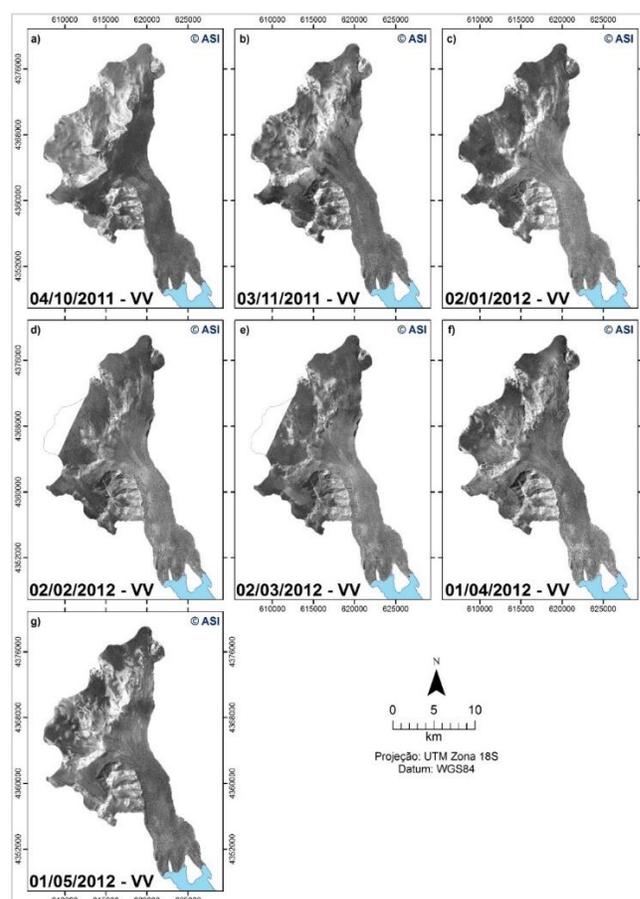


Figura 2. Acervo de imagens COSMO-SkyMed da geleira Grey utilizadas nesse estudo.

A Figura 3 exibe os valores médios e o desvio padrão do retroespalhamento das imagens COSMO-SkyMed extraídas a partir das classes das zonas superficiais da geleira ao longo da série temporal. As classes de gelo exposto e neve úmida apresentam valores médios de retroespalhamento distintos, possibilitando a classificação da superfície da geleira. Os valores médios das classes obtidos são similares aos valores encontrados para geleiras da Antártica e do Everest utilizando as bandas C e X [8; 9; 10; 11].

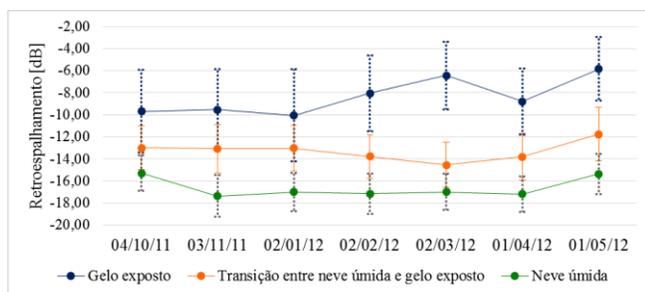


Figura 3. Variações temporais do retroespalhamento médio dos alvos superficiais extraídas da série de imagens COSMO-SkyMed.

Ao longo de toda a série temporal, o retroespalhamento médio das zonas de gelo exposto foi superior às demais classes, sendo que as menores taxas de retroespalhamento ocorreram na classe de neve úmida. Os máximos de retroespalhamento na superfície de neve úmida ocorreram em outubro e maio, enquanto no verão o retroespalhamento foi reduzido devido as maiores temperaturas e ao consequente aumento do teor de umidade no pacote de neve.

Na superfície de gelo exposto, entre outubro e janeiro, os índices de retroespalhamento médio são ligeiramente similares, havendo aumento a partir de fevereiro e atingindo o ápice em março e maio. O padrão de retroespalhamento médio em março resulta do derretimento do pacote de neve úmida, e em maio, decorre da precipitação de neve seca, resultando em um sinal retroespalhado similar ao de gelo exposto.

A Figura 4 exibe os resultados das classificações da superfície da geleira Grey. A área de abrangência de cada uma das classes de cobertura superficial é apresentada na Tabela 2 e na Figura 5.

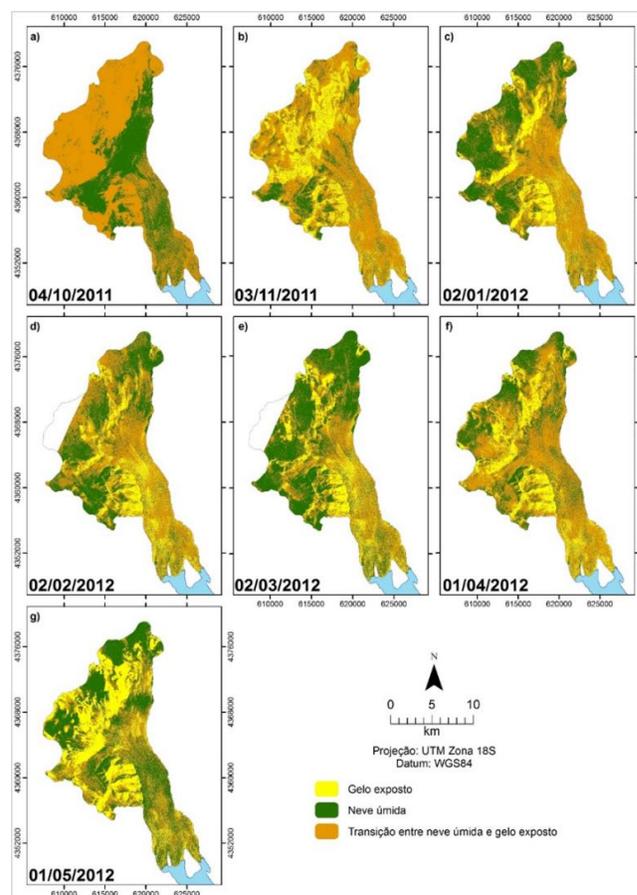


Figura 4. Variações nas zonas superficiais da geleira Grey entre outubro/2011 e maio/2012.

Tabela 2: Área de abrangência das zonas superficiais de gelo exposto, neve úmida e transição entre neve úmida e gelo exposto na geleira Grey.

Data	Gelo exposto (km ²)	Neve úmida (km ²)	Transição entre neve úmida e gelo exposto (km ²)
04 / Out	0,003*	86,57	175,10
03 / Nov	62,31	38,02	161,34
02 / Jan	42,94	87,16	131,58
02 / Fev	57,27	81,36	123,04
02 / Mar	57,73	112,96	90,98
01 / Abr	51,33	67,68	142,66
01 / Mai	77,33	102,12	82,22

* A quase inexistência da zona superficial de gelo exposto em 04/Out ocorreu por ainda não ter iniciado o período de ablação.

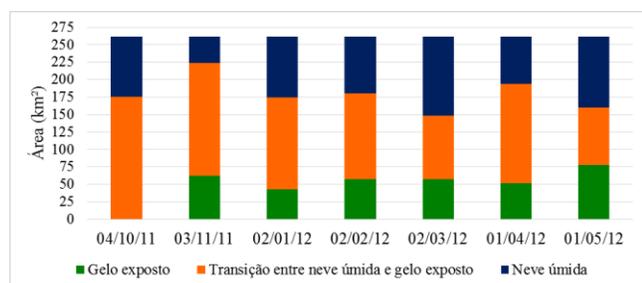


Figura 5. Área de abrangência das zonas superficiais de gelo exposto, neve úmida e transição entre neve úmida e gelo exposto na geleira Grey.

A área classificada como gelo exposto em outubro é próxima de zero, enquanto nos outros meses houve aumento de sua ocorrência. Isso decorre que em outubro ainda não havia iniciado o período de ablação, predominando a zona de transição entre neve úmida e gelo exposto. Com as mudanças meteorológicas provenientes do aumento da temperatura do ar superficial, a partir de novembro houve incremento da ablação e conseqüentemente expansão das áreas de gelo exposto, decorrente do processo de derretimento da neve úmida que cobre a superfície da geleira.

Nos meses de janeiro, fevereiro e março, houve predomínio de neve úmida e transição devido às altas temperaturas do verão que intensificam o processo de derretimento da neve e conseqüentemente aumenta o teor de umidade no pacote de neve. Em abril, a área de neve úmida diminuiu e aumentou a área de transição, finalizando em maio com a expansão da zona de gelo exposto, possivelmente resultante da precipitação de neve seca, que possui alto retroespalhamento e padrão similar ao de superfícies de gelo exposto.

5. CONCLUSÕES

A partir dos valores de retroespalhamento da superfície da geleira Grey na banda X do satélite COSMO-SkyMed foi possível distinguir a cobertura superficial. Esse método corrobora para o grande potencial em estudos de ambientes da criosfera. O retroespalhamento médio obtido nesse estudo é compatível aos valores de retroespalhamento obtidos por outros autores que utilizaram as bandas X e C de diferentes plataformas orbitais.

Em função das dificuldades em se realizar o monitoramento constante da dinâmica de geleiras e das variações na cobertura superficial, os dados SAR atrelados às técnicas de sensoriamento remoto são importantes ferramentas para o monitoramento contínuo desses ambientes. Os diferentes modos de polarização interferem na sensibilidade do sensor SAR para detecção de variações superficiais, portanto, para trabalhos futuros, indica-se utilizar outros modos de polarização para ampliar a capacidade de distinção das variações nos alvos superficiais.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Agenzia Spaziale Italiana por disponibilizar as imagens do satélite COSMO-SkyMed.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Aniya, M.; Sato, H.; Naruse, R.; Skvarca, P.; Casassa, G., The use of satellite and airborne imagery to inventory outlet glaciers of the Southern Patagonia Icefield, South America. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. v. 62, n. 12. p. 1361-1369, 1996.
- [2] Rivera, A.; Casassa, G., Ice elevation, areal, and frontal changes of glaciers from National Park Torres del Paine, Southern Patagonia Icefield. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. v. 36, n. 4. p. 379-389, 2004.
- [3] Aniya, M., Recent glacier variations of the hielos Patagónicos, South America, and their contribution to sea-level change. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. v. 31, n. 2. p. 165-173, 1999.
- [4] Weidemann, S. S.; Sauter, T.; Malz, P.; Jaña, R.; Arigony-Neto, J.; Schneider, C., Glacier Mass Changes of Lake-Terminating Grey and Tyndall Glaciers at the Southern Patagonia Icefield Derived From Geodetic Observations and Energy and Mass Balance Modeling. *Frontiers in Earth Science*. v.6, n.81. p. 1-16, 2018.
- [5] Jensen, J. R., Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Editora Parêntese. 672 p, 2009.
- [6] Oliveira, J. A. de., Mapeamento das feições superficiais da Geleira Grey, Campo de Gelo Patagônico Sul, com uso de imagens de alta resolução espacial. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Rio Grande. 2015.
- [7] Hubert-Moy, L.; Cotonnec, A.; Le Du, L.; Chardin, A.; Perez, P., A comparison of Parametric Classification Procedures of Remotely Sensed Data Applied on Different Landscape Units. *Remote Sensing of Environment*. 75, p. 174-187, 2001.
- [8] Rau, F.; Braun, M.; Friedrich, M.; Weber, F.; Goßman, H., Radar glacier zones and their boundaries as indicators of glacier mass balance and climatic variability. In: *Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop Land Ice and Snow*. Dresden, Alemanha. p. 317-327, 2000.
- [9] Braun, M., Ablation on the ice cap of King George Island (Antarctica) - an approach from field measurements, modeling and remote sensing. 191 f. Tese (Doctoral at the Faculty of Earth Sciences) – Universität Freiburg i. Br. 2001.
- [10] Arigony-Neto, J.; Saurer, H.; Simões, J. C.; Rau, F.; Jaña, R.; Vogt, S. H., Spatial and temporal changes in dry-snow line altitude on the Antarctic Peninsula. *Climatic Change*. 94. p. 19-33, 2009.
- [11] Andrade, A. M.; Arigony-Neto, J.; Bremer, U. F.; Michel, R. F. M.; Fassoni-Andrade, A. C.; Schaefer, C. E. G. R.; Simões, J. C., Cosmo-SkyMed X-band SAR data for classification of ice-free areas and glacier facies on Potter Peninsula, King George Island. *Geocarto International*. p. 1-10, 2015.