

Potencialidades e aplicações de filtros em imagens Landsat para monitoramento temporal de frentes de geleiras na Península Antártica

Carina Petsch¹
Kátia Kellem da Rosa¹
Jefferson Cardia Simões¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS/PPGEA
Avenida Bento Gonçalves, 9500 – 91509-900 – Porto Alegre - RS, Brasil
carinapetsch@gmail.com

Abstract: The aim of this work is to propose a method of automatic delineation of fronts of outlet glaciers. The method was applied to temporal analysis of glaciers of Renaud Island, Antarctic Peninsula. The satellite images used are from the Landsat 5 TM, obtained on 02/18/1986, and Landsat 8 series, of 09/23/2014. The method consists of applying edge enhancement filters: Directional, Laplacian, High Pass, Roberts Edge Detector and Sobel Edge Detector, in ENVI software. Subsequently, a supervised classification to differentiate ice and snow (island) of ocean was performed. This classification raster file was converted to vectors, obtaining the limits of the fronts of glaciers. In case of the image of 1986, with the presence of a thin layer of clouds, the High Pass, Sobel and Roberts filters had an acceptable monitoring fronts of glaciers result, perfectly usable for studies of variation of glaciers. In the presence of icebergs, the best performance was obtained with the application of Roberts filter, while the presence of sea ice produced erroneous results in most filters, and only the High Pass and Laplacian made the correct definition. Vectoring resulting from the application of the High Pass filter was satisfactory for the condition of cloud, icebergs and sea ice and the temporal quantitative analysis, with an estimated 28 km² frontal retraction in the period, compared with 30 km² according to visual interpretation.

Palavras-chave: image processing, remote sensing, Antarctic Peninsula, processamento de imagens, sensoriamento remoto, Península Antártica.

1. Introdução

Alterações nas geleiras são registradas por meio de medições da posição da frente destas e de seus balanços de massa (OERLEMANS, 1992). Ressalta-se que as informações obtidas por Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagens são de enorme importância para avaliação da dinâmica das geleiras, gelo marinho e plataformas de gelo.

A medição e observação da variação areal das geleiras caracteriza-se como um estudo importante para inferir impacto das mudanças climáticas (STROZZI, 2008; DIOLAIUTI e SMIRAGLIA, 2010). As geleiras se expandem e contraem em resposta às mudanças de temperatura e oscilações na precipitação de neve, assim suas flutuações tanto passadas quanto atuais servem como fonte valiosa de informações sobre o funcionamento do sistema climático global (BENN e EVANS, 1998). O uso de Sensoriamento Remoto para o estudo de ambientes glaciais de difícil acesso pode fornecer informações para entender a dinâmica das massas de gelo na Antártica (ZHOU *et al.* 2008). Em muitos casos, é a forma mais viável de se obter dados considerando as características do local, o tempo gasto e os recursos financeiros disponíveis (REES, 2001). No campo da glaciologia, muitos parâmetros relacionados às geleiras são possíveis de serem obtidos somente com Sensoriamento Remoto, assim como destaca Kargel (2005) e com metodologias que envolvem o Processamento Digital de Imagens (FREY, 2011).

O objetivo desse trabalho é obter automaticamente os limites de frentes de geleiras de descarga com a aplicação de filtros espaciais (operações de filtros para realçar bordas e feições lineares de determinadas direções e padrões de textura) em imagens ópticas Landsat da área da ilha Renaud, Península Antártica. Avaliar o potencial do uso da metodologia na análise temporal é relevante para a quantificação e o contínuo monitoramento da retração glacial nesta região que tem alterações significantes na dinâmica glacial em algumas áreas.

para *download* no caso da imagem Landsat 5. O georreferenciamento dessas imagens foi realizada com base no banco de dados ADD (*Antarctica Digital Database*) (ADD, 2013) e na imagem Landsat 7 de 27/09/1999 referente à ilha Renaud. Essa imagem não possui cobertura de nuvem e sua resolução espacial é de 15 metros e serviu como base para georreferenciamento das demais imagens Landsat. O co-registro das imagens foi realizado no *software* ENVI, sendo que valores de RMS (Erro Médio Quadrático por pixel) foram menores que 0,60, e o interpolador utilizado foi o Vizinheiro Mais Próximo. Foram adquiridos, em média, 21 pontos para co-registro.

Todo o banco de dados foi transformado para a Projeção Cônica Conforme de Lambert, com origem no Polo Sul geográfico e o esferóide usado foi o WGS 84 para reduzir as distorções na escala de trabalho adotada, de 1:50.000.

Posteriormente, foram aplicados os filtros Direcional, *Laplacian*, Passa Alta, *Roberts Edge Detectore Sobel Edge Detector*, no *software* ENVI. Para os filtros Passa Alta e *Laplacian*, o *kernel size* foi de 5x5, para o direcional o ângulo de direção do filtro foi de 30° e *kernel size* de 5x5, para o *Sobel* e *Roberts* a imagem adicionada foi de 30%. Esses valores foram estabelecidos após testes visando a filtragem com melhor realce dos limites das frentes de geleiras.

As imagens filtradas foram exportadas para o *software* Arc Gis, onde foi realizada uma classificação temática supervisionada destas, com objetivo de separar os alvos gelo e oceano. As frentes de geleiras, ressaltadas na filtragem, também foram demarcadas na classificação temática. O arquivo em formato raster foi transformado para o formato vetor, obtendo-se assim o limite vetorial automático das frentes de geleiras (Figura 02).

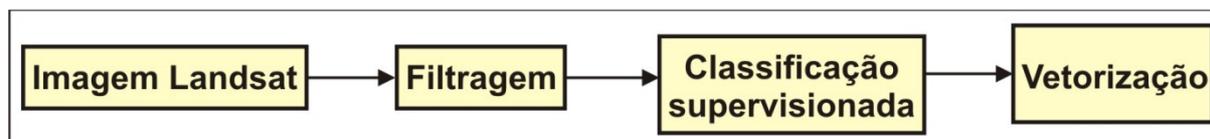


Figura 02: Fluxograma da metodologia utilizada para a geração do limite automático das frentes de geleiras.

4. Resultados e discussões

A aplicação das operações de filtragens para realçar bordas (*Laplacian*, Passa Alta, *Roberts Edge Detector* e *Sobel Edge Detector*), feições lineares de determinadas direções (filtro Direcional) e padrões de textura possibilitaram diferentes resultados na detecção das frentes de geleiras na classificação temática. Os alvos como icebergs e material desprendido da frente de geleira e a calota de gelo que recobre a ilha Renaud possuem a mesma resposta espectral.

O filtro Direcional não possibilitou resultados satisfatórios na distinção destes alvos delimitando como área pertencente a ilha, uma grande porção de icebergs no mar. O filtro superestimou valores de limite das ilhas, e apresentou-se vetor com mudanças abruptas. O filtro Sobel foi mais fiel aos limites de frente de geleiras, contudo também teve uma pequena superestimativa desses valores. O melhor desempenho foi do filtro Roberts, embora não sendo um dos mais conhecidos, demonstrando a importância da aplicação de testes para obter melhores resultados (Figura 03).

Portanto, ao se realizar uma classificação temática, e evitar confusões entre esses alvos é recomendável a obtenção de uma imagem livre de icebergs ou uma classificação supervisionada baseada em amostras geradas com a interpretação visual, o que resultaria na maior diferenciação dos limites de frente de geleira.

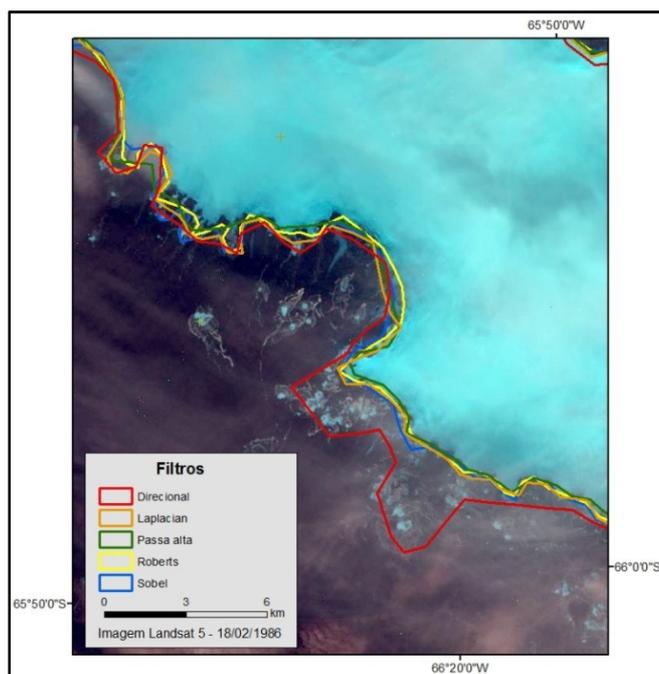


Figura 03: Aplicação dos filtros em área com presença de icebergs, na imagem Landsat 5 de 18/02/1986.

Um grande problema nos estudos glaciológicos utilizando Sensoriamento Remoto óptico é a presença de nuvens nas imagens, o que pode dificultar a interpretação e até impossibilitar a visualização da área de estudo. Para se diferenciar nuvens de neve é possível utilizar a porção do infravermelho médio do espectro eletromagnético (1,55–2,35 μm) porque nessa faixa nuvens refletem quantidades substanciais de energia, enquanto que a reflectância da neve aproxima-se de zero (HALL *et al.* 1985).

Na imagem de 1986, pode-se observar a presença de uma fina camada de nuvens, que gerou interferências no realce das imagens realizado através dos filtros. Novamente, o resultado gerado pelo filtro Direcional foi insatisfatório com superestimação de valores. Nesse caso, os resultados de vetorização obtidos com o Passa Alta, Sobel e Roberts para a banda 6 do Landsat 8 (1.57–1.65 μm) se mostram próximos da localização das frentes de geleiras determinada visualmente na imagem na composição colorida RGB 345. Estes filtros de alta frequência (LILLESAND *et al.*, 2008) enfatizam detalhes espaciais nas imagens digitais quando possuem um contraste local. O filtro direcional enfatizou as bordas verticais, horizontais e diagonais, contudo sem apresentar uma delimitação correta das frentes de geleiras.

O filtro *Laplacian* apresentou algumas áreas com contornos abruptos e superestimação. Considerando, a grande frequência de nuvens nessa região da Antártica, o uso de alguns filtros pode ser a solução para obtenção de uma maior periodicidade de dados, voltados para o monitoramento de frentes de geleiras (Figura 4). O filtro *Laplacian* salientou todas as bordas na imagem e sua interpretabilidade pode ser aumentada com a adição da imagem original para a análise, pois pode haver uma homogeneização de outras áreas de interesse, assim como ressalta Lillesand *et al.* (2008).

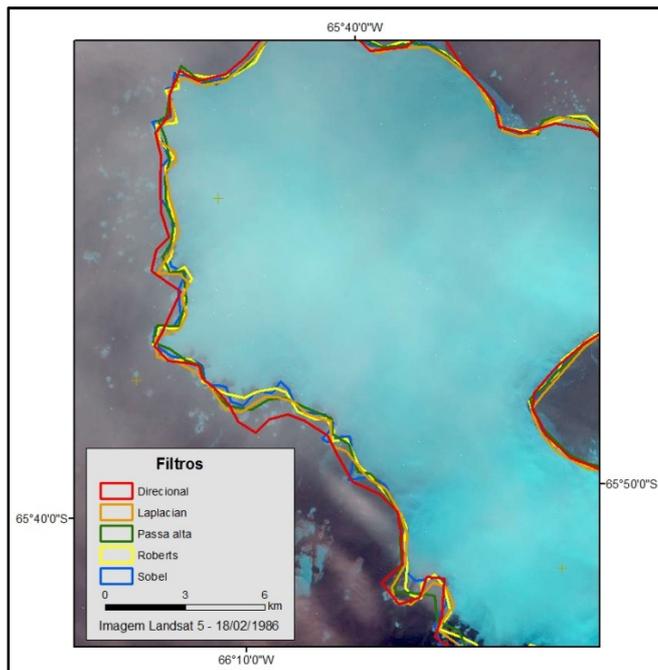


Figura 4: Aplicação dos filtros na imagem Landsat de 1986, apresentando uma fina camada de nuvens.

A imagem de 23 de setembro de 2014, mostra uma área de enseada com presença de gelo marinho. Esse material se apresenta, segundo a reflectância, como um prolongamento da área da ilha. Assim, somente os filtros Passa Alta e Laplacian apresentam o delineamento correto das frentes de geleiras. O filtro Sobel foi o que apresentou o pior resultado, considerando a inclusão de toda área de gelo marinho como pertencente a área de estudo. A ilha também apresenta uma área de prolongamento, na porção sudeste, e o filtro Direcional não detectou uma parte dessa área, destacada na figura 5.

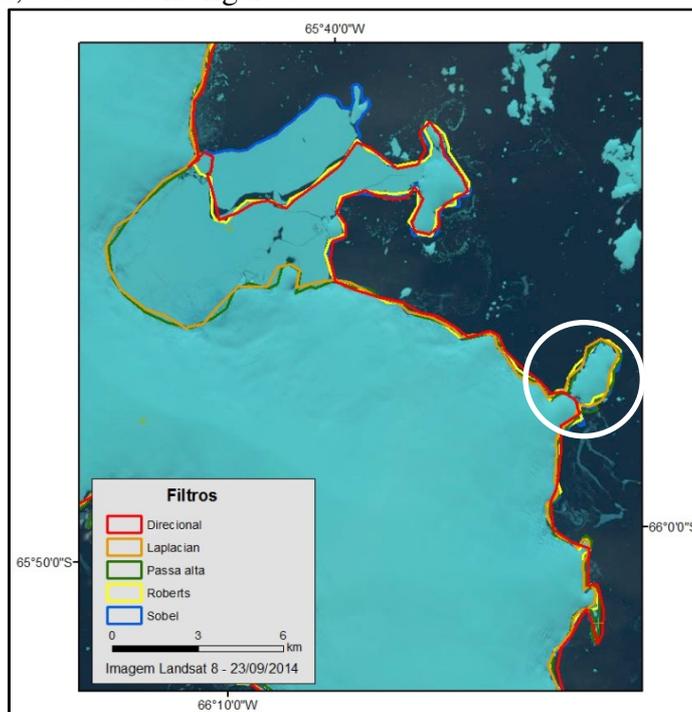


Figura 5: Aplicação de filtros de realce de bordas em imagem Landsat 8 de 2014.

Os valores dos filtros Roberts e Sobel aumentaram, 12 e 24 km² respectivamente, já que delimitaram áreas de gelo marinho como pertencentes a área da ilha Renaud. Os valores do filtro Direcional foram superestimados com 56 km² de diferença para a imagem de 2014. Os valores do Laplacian e Passa Alta, apresentaram para 1986 diferença de 10 e 4 km², respectivamente, e para 2014 foi de 10 e 6 km² em relação a delimitação visual (Tabela 1).

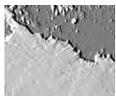
Tabela 1: Área da ilha Renaud resultantes das filtragens e da delimitação visual.

Filtro	1984 (Área em km ²)	2014 (Área em km ²)
Direcional	563	543
Laplacian	527	497
Passa alta	521	493
Roberts	520	532
Sobel	531	555
Visual	517	487

De acordo com Crosta (1993), os filtros do tipo Passa-Alta eliminam as feições de baixa frequência, deixando apenas as de alta frequência, normalmente expressas por bordas ou limites entre áreas de diferentes valores de DN. Os filtros Laplacianos também são úteis da detecção de bordas, porém não fornece contraste alto dificultando a interpretação. Assim, somente o Passa-Alta é indicado para mapeamento de frentes de geleiras, enquanto o *Laplacian* apresenta potencial para mapeamento temático da superfície com neve e gelo.

O filtro Direcional pode produzir bordas artificiais que podem confundir o intérprete (CROSTA, 1993). Seu uso é mais indicado para realce de lineamentos de relevo (CARVALHO e SILVA, 2005) já que é comumente conhecida como uma técnica de realce linear seletivo (GUO, et al. 2001). O filtro do tipo Roberts é o mais antigo e mais simples algoritmo de detecção de bordas, tendo apresentado resultado satisfatória detecção de frentes de geleiras. O filtro Sobel, no caso de um limiar alto, os segmentos aparecerão finos e quebrados (sem continuidade da borda), dificultando a obtenção do arquivo vetorial de frentes de geleiras (Tabela 2).

Tabela 2: Indicação de usos e aplicações de filtros para estudos envolvendo a Península Antártica.

Filtro	Nuvens	Icebergs	Gelo marinho	Indicação
Direcional 	Piores resultados	Piores resultados	Não indicado	Realce de feições de relevo
Passa Alta 	Melhores resultados	Resultados intermediários	Melhores resultados	Frentes de geleiras e mapeamento de superfície
<i>Laplacian</i> 	Resultados intermediários	Resultados intermediários	Melhores resultados	Mapeamento de superfície e feições de relevo.
<i>Sobel</i> 	Melhores resultados	Resultados intermediários	Piores resultados	Mapeamento de superfície e circulação de pluma de sedimentos
<i>Roberts</i>	Melhores	Melhores	Não indicado	Frentes de geleiras

	resultados	resultados		(sem gelo marinho), mapeamento de superfície e circulação de pluma de sedimentos
---	------------	------------	--	--

5. Conclusões

A aplicação da metodologia proposta possibilitou obter automaticamente os limites de frentes de geleiras na área de estudo com a aplicação de filtros espaciais em imagens ópticas Landsat 5 e 8.

A vantagem demonstrada pela aplicação dos filtros, é que estes permitem o realce de bordas, de frentes de geleiras, mesmo com a presença de uma fina camada de nuvens. Contudo, sob a presença de nuvens, sempre será necessária a conferência visual dos limites de frentes de geleiras gerados com a imagem de satélite. No caso, de presença de uma camada fina de nuvens, os filtros Passa Alta, *Sobel* e *Roberts* apresentaram um resultado aceitável para o monitoramento de frentes de geleiras. Como a ocorrência de nuvens é frequente na área da ilha Renaud, a técnica de Processamento Digital de Imagem utilizada pode melhorar a obtenção de dados para essa área.

A presença de gelo marinho resultou em confusão na classificação temática devido a resposta espectral similar desse alvo e do gelo sobre a ilha. Os filtros Passa Alta e *Laplacian* representaram corretamente os limites, contudo recomenda-se que na presença de gelo marinho, seja utilizado o realce de bordas com posterior vetorização manual dos limites. O Direcional foi o que apresentou os piores resultados com delimitação de áreas de gelo marinho e icebergs, e confusão em áreas com nuvens.

É claro que considerando o objetivo do artigo, que seria a de apresentar um método de vetorização automático das frentes de geleiras, ressalta-se que os resultados são mais satisfatórios onde não há nuvens, mas principalmente onde não há gelo marinho e icebergs. Contudo, a vetorização resultante da aplicação do filtro Passa Alta foi satisfatória para condição de nuvem, icebergs e gelo marinho e quantitativamente, já que a retração da ilha, nos 28 anos considerados, foi de 28 km² segundo o filtro e de 30 km² segundo a interpretação visual.

Desta forma, os resultados demonstraram o potencial da aplicação metodológica para a realização de análises temporais visando o contínuo monitoramento da retração glacial nestes ambientes sensíveis às mudanças climáticas.

6. Referências bibliográficas

ADD - **Antarctic Digital Database**. Versão 6.0. Disponível em:

<http://www.nerc.bas.ac.uk/public/magic/add_home.html>. Acesso em: 16 de abril de 2013.

Ahlert, S. **Variações Morfológicas do Campo de Gelo da Ilha Brabant, Antártica**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 116 p., 2005.

Barrett, B.; Nicholls, K. W.; Murray, T.; Smith, A. M.; Vaughan, D. G. Rapid recent warming on Rutford Ice Stream, West Antarctica, from borehole thermometry. **Geophysical Research Letters**, v. 36 (2), p. 12–22, 2009.

Benn, D. I.; Evans, D. J. A. **Glaciers and Glaciation**. Londres: Edward Arnold, 734 p., 1998.

Carvalho, J. A. A.; Silva, F. C. A. Aplicação de técnicas de Processamento Digital de Imagens para a caracterização do padrão dos lineamentos frágeis na região de Santana do Acaraú – CE. **Anais...** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1717-1724.

Crosta, A. P. **Processamento Digital de Imagens**. Campinas: IG/UNICAMP, 1993.

Diolaiuti G.; Smiragliac. Changing glaciers in a changing climate: how vanishing geomorphosites have been driving deep changes in mountain landscapes and environments **Geomorphologie**. 2, 131–152, 2010.

Dozier, J. Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper. **Remote Sensing of Environment**, vol. 28, p. 9–22, 1989.

Frey, H., Machguth, H., Huss, M., Huggel, C., Bajracharya, S., Bolch, T., Kulkarni, A., Linsbauer, A., Salzmann, N. And Stoffel, M. Ice volume estimates for the Himalaya–Karakoram region: evaluating different methods. **The Cryosphere Discussions**, 7(5), 4813–4854, 2013.

GUO, W.; DONGGUANG, L.; WATSON, A. Directional filtering as a multi-purpose tool in image processing. Info-tech and Info-net, 2001. **Proceedings. ICII 2001 - Beijing**. 2001.

Hall, D. K.; Martinec, J. **Remote Sensing of Ice and Snow**. Londres: Chapman, 189p., 1985.

Kargel, J. et al., Multispectral imaging contributions to global land ice measurements from space. **Remote Sensing Environment**. 99, (1–2), 187–219, 2005.

King, J. C.; Turner, J. **Antarctic Meteorology and Climatology**. Cambridge: Cambridge University Press, 409 p., 1997.

Lee, J. E.; Chown, S. L. Quantification of intra-regional propagule movements in the Antarctic. **Antarctic Science**, vol. 23 (4), p. 337–342, 2011.

Lillesand, Thomas M; Kiefer, Ralph W; Chipman, Jonathan W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley & Sons, 6 edição, 2008, 756 p.

Monaghan, A. J.; Bromwich D. H.; Schneider, D. P. Twentieth century Antarctic air temperature and snowfall simulations by IPCC climate models. **Geophysical Research Letters**, n. 35 (7), 2008.

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

Rees, W. G. **Physical Principles of Remote Sensing**. 2ª ed., Cambridge University Press, Reino Unido, 343 p., 2001.

Strozzi, T. Estimation of Arctic glacier motion with satellite L-band SAR data, **Remote Sensing Environmental**. 112,(3), 636–645, 2008.

Skarkca, P.; De Angelis, H. Impact assessment of regional climatic warming on glaciers and ice shelves of the northeastern Antarctic Peninsula. *In*: Domack E.; Leventer, A.; Burnett, A.; Bindschadler, R.; Convey, P. & Kirby, M. (Eds.): Antarctic Peninsula climate variability: historical and paleoenvironmental perspectives. **Antarctic Research Series**, n. 79, p. 69–78, 2003.

Turner, J.; Bindschadler, R.; Convey, P.; Di Prisco, G.; Fahrback, E.; Gutt, J.; Hodgson, D.; Mayewski, P.; Summerhayes, C. **Antarctic Climate Change and the Environment – a contribution to the International Polar Year 2007-2008**. Cambridge: SCAR, Scott Polar Research Institute, 395 p., 2009.

Zhou, C.; Dongchena, E.; Wang, Z.; Sun J. Remote sensing application in Antarctic inland areas. *In*: The International Archives of the Photogrammetry, 2008, Beijing. **Workshop...** 2008, vol. 27.