



MAPEAMENTO E ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE *FLUTINGS* NA ÁREA LIVRE DE GELO DA GELEIRA VIEVILLE, ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA

Carina Petsch ¹
Luiz Felipe Velho ²
Katia Kellem da Rosa ³
Eric Moisés Beilfuss ⁴
Augusto Alves Bolson ⁵

RESUMO

Em resposta ao aquecimento atmosférico, as geleiras da Antártica Marítima têm apresentado retração nas últimas décadas, contribuindo para o aumento de áreas livres de gelo. A geleira Vieville, localizada na ilha Rei George, é um destes casos, e sua área proglacial apresenta feições geomorfológicas que podem fornecer informações sobre processos subglaciais. Assim, o objetivo desta pesquisa é mapear e caracterizar a morfometria de *flutings* localizados na área livre de gelo da geleira Vieville, Ilha Rei George, Antártica Marítima. As fotografias foram obtidas com um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) DJI Mavic 2, no verão austral de 2023. O bloco de fotografias foi ajustado e um Modelo Digital de Elevação (MDE) e um ortofotomosaico foram gerados. Os *flutings* foram mapeados a partir do MDE e as suas dimensões foram obtidas. Ademais, foram gerados perfis topográficos a partir do MDE, para demonstrar a variação de altitude que caracteriza os *flutings*. Como resultados, na categoria de *flutings* mais preservados da erosão, foram mapeadas 27 feições, com média de comprimento de 10 m, variando entre 1 e 28 metros. Na categoria de *flutings* mais retrabalhados foram mapeados 102 feições, com média de 4 m, variando entre 1 m e 20 m. A largura é proporcional ao tamanho do *bloco stoss and lee* identificado na maioria das feições. A altura das feições é de aproximadamente 20 a 30 centímetros. Concluiu-se que a resolução espacial obtida com o ortofotomosaico e MDE gerados por VANT permitiu o mapeamento e a caracterização morfométrica de *flutings*, atingindo o objetivo da pesquisa.

INTRODUÇÃO

Desde a década de 1950, tem sido relatado que a Península Antártica (PA) apresenta uma taxa de aquecimento maior em comparação ao resto do mundo (Vaughan

¹ Docente do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - RS, carinapetsch@gmail.com;

² Docente do Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - RS e Docente do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, lfvelho@gmail.com;

³ Docente do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - RS, katiakellem@gmail.com;

⁴ Doutorando do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - RS, ericmoisesb@outlook.com;

⁵ Mestrando do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - RS, augustobolson@gmail.com.



et al. 2013; Turner et al. 2016; Siegert et al. 2019). Nesse sentido, o mês de fevereiro de 2020 foi excepcionalmente quente na PA, assim, foi registrada a temperatura mais alta na região continental da Antártica (González-Herrero et al, 2022). Uma das consequências do aquecimento, é a retração das geleiras.

Com a retração das geleiras ocorre o desenvolvimento de áreas livres de gelo, que correspondem a menos de 1% do continente (Terauds e Lee, 2016). De acordo com Lee et al. (2017), as áreas sem cobertura permanente de gelo na PA podem aumentar em mais de 17.000 km² até o final deste século, devido à retração de geleiras. Estas áreas são de grande importância, pois contêm ecossistemas altamente sensíveis a mudanças ambientais e estão localizadas em uma região afetada pelo aquecimento global (López-Martínez, 2016).

As áreas livres de gelo nas Ilhas Shetland do Sul são marcadas por processos e formas de relevo paraglaciais e periglaciais (López-Martínez et al., 2012). A representação precisa e acurada das formas de relevo constitui um elemento fundamental para a identificação e a análise dos processos glaciais e glaciofluviais pretéritos (Smith; Rose e Booth, 2006; Ely, 2017; Śledź; Ewertowski; Piekarczyk, 2021). Nesse sentido, diversos autores realizaram mapeamentos geomorfológicos em áreas livres de gelo nas ilhas Shetlands do Sul (Petsch et al 2019; Perondi et al 2020; Perondi et al 2025).

Muitas das formas de relevo encontradas em áreas recentemente deglaciadas, incluindo os *flutings*, são frequentemente pequenas demais para serem mapeadas a partir de fontes de dados com resolução global (Ely et al, 2017). Assim, imagens de alta resolução e Modelos de Elevação Digital (MDE) de aquisição rápida podem fornecer conjuntos de dados robustos que registram essas formas de relevo frágeis e transitórias (Ely et al, 2017). Veículos aéreos não tripulados (VANTs) têm ajudado a resolver esse problema, pois podem coletar dados espaço-temporais de alta resolução e conduzir operações em locais inacessíveis a um baixo custo e com facilidade em comparação com a observação *in situ* e o Sensoriamento Remoto convencional (Li et al, 2023).

Flutings caracterizam-se como cristas subglaciais longas e estreitas de sedimentos alinhadas paralelamente à direção do fluxo de gelo (Benn, 1994). Os *flutings* se formam à medida que o sedimento é comprimido em túneis lineares, ou vazios, criados conforme o gelo da geleira flui sobre e ao redor de obstáculos na interface do leito de gelo (Gordon, 1992). Em razão disso, o objetivo desta pesquisa é mapear e caracterizar a morfometria



de *flutings* localizados na área livre de gelo da geleira Vieville, utilizando um ortomosaico e MDE obtidos com VANT.

MATERIAIS E MÉTODOS

A aquisição de fotografias aéreas foi realizada com um drone DJI Mavic 2, em condições de iluminação adequadas para o registro das pequenas feições geomorfológicas. O plano de voo foi realizado no aplicativo Drone Deploy, onde foi configurada a sobreposição de 75% entre as fotos na faixa e entre faixas e a altitude de voo de 100 m. Os voos foram realizados durante a Operação Antártica XLI (OPERANTAR XLI), ocorrida no verão austral de 2023. Como resultado, foram adquiridas 1196 fotografias da frente da geleira e de sua área proglacial. O bloco de 1196 fotografias foi ajustado e processado no *software* Agisoft Metashape Professional. Como produtos finais do ajustamento do bloco, um MDE com resolução espacial de 4 cm e um ortofotomosaico com resolução espacial de 2 cm foram gerados. Adicionalmente fotografias de campo foram obtidas usando o aplicativo SW Maps, que fornece a localização dos registros.

Um mapeamento dos *flutings* e blocos *stoss and lee* foi criado no Sistema de Informação Geográfica QGIS, utilizando a ortomosaico e o MDE. Os *flutings* foram mapeados segundo método de Ely et al (2017), ao longo de sua linha de crista, definindo o comprimento do *fluting* a partir de cálculo na tabela de atributos. As rochas na extremidade do *fluting* foram mapeadas como um ponto, definindo o bloco *stoss and lee*. Foram traçados perfis topográficos utilizando o MDE.

Com base nos dados de observação em campo, na análise do ortomosaico e do MDE, foi necessário subdividir a categoria de mapeamento dos *flutings* em dois tipos: o primeiro corresponde às feições mais bem preservadas, enquanto o segundo representa aquelas mais retrabalhadas por processos paraglaciais. Nesse caso, para os *flutings* mais retrabalhados, foram mapeados apenas os trechos onde a feição ainda se encontra preservada. Assim, um mesmo *fluting* pode ter sido dividido em três ou mais segmentos ao longo do mapeamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

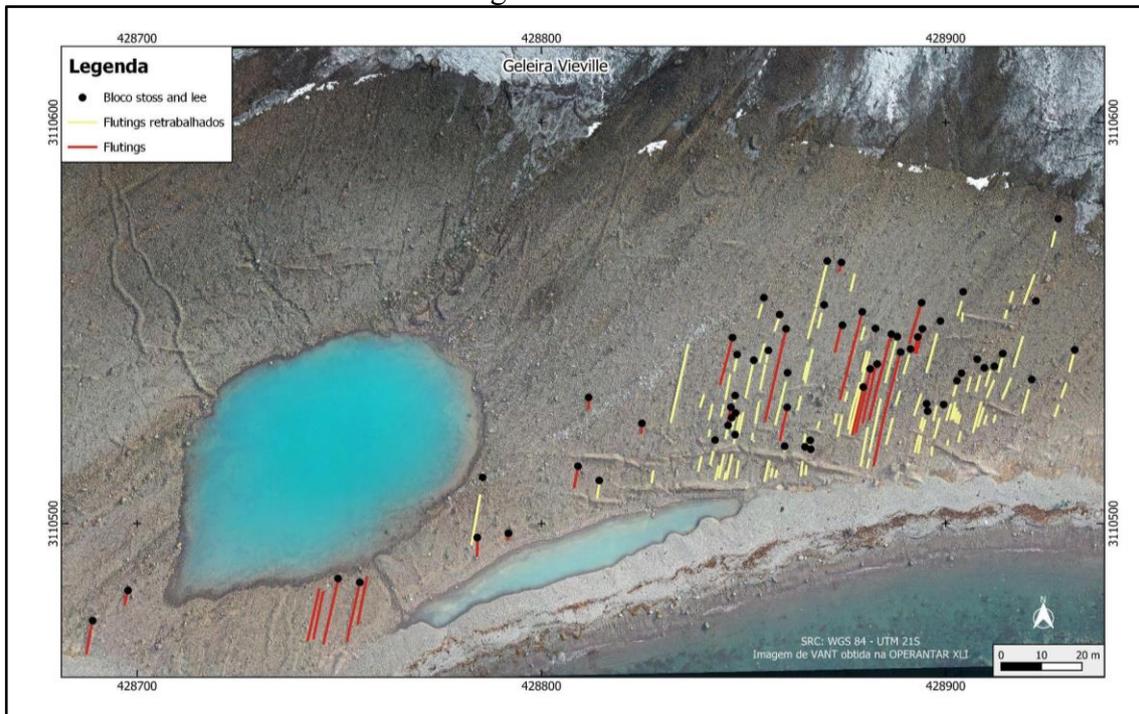
Na categoria de *flutings* mais preservados da erosão, foram mapeadas 27 feições, com média de comprimento de 10 m, variando entre 1 e 28 metros. Na categoria de



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

flutings mais retrabalhados foram mapeadas 102 feições, com média de 4 m, variando entre 1 m e 20 m. Evidentemente, nesse caso, algumas lineações correspondem ao mesmo *fluting*, porém em alguns locais, este foi erodido. Especialmente, observa-se uma concentração dos *flutings* na porção mais próxima à geleira Vieville (Figura 1). Por se tratarem de feições subglaciais, essas estruturas indicam a direção do fluxo da geleira quando sua frente ainda era marinha.

Figura 1: Mapeamento dos *flutings* e blocos *stoss and lee* da área livre de gelo da geleira Vieville.



Fonte: Autores

A maior parte dos *flutings* encontra-se associada a blocos do tipo *stoss and lee* (Figura 2d). Ao todo, foram mapeadas 62 dessas feições. Nos *flutings* em que não há o bloco, observou-se em campo que ocorreu erosão nessas áreas. Ademais, Ely et al. (2017) sugerem que os blocos rochosos podem ter sido removidos/deslocados durante o recuo glacial ou após a deglaciação, o que significa que não estão mais alinhados com os *flutings*. Essas formas estão associadas a processos deposicionais de uma geleira de regime termo basal úmido e, por isso, com alta disponibilidade de água de degelo.

Figura 2: Fotografias de campo dos *flutings* e blocos *stoss and lee* da área livre de gelo da geleira Vieville.

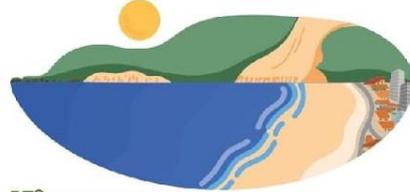


Fonte: Autores

A largura dos *flutings* é proporcional ao tamanho do *bloco stoss and lee* identificado na maioria das feições, indicando que houve preenchimento de sedimentos no lado em que a geleira estava fluindo quando deslizava sobre o embasamento rochoso (Figura 2a). Os *flutings* são cavidades preenchidas por *till*, conforme pode ser observado nas fotografias de campo (Figura 2b e c). Como próximo passo da pesquisa pretende-se fazer a análise granulométrica e morfoscópica das amostras sedimentares coletadas nos *flutings*.

Devido à elevada quantidade de feições retrabalhadas, observa-se que se trata de um ambiente transitório, sujeito a intenso fluxo de água de degelo e ao transporte significativo de sedimentos (Figura 2a). É possível que, nos próximos anos, mais *flutings* sejam retrabalhados e venham a desaparecer. Vários autores (Ballantyne, 2002; Slaymaker, 2009; Benn e Evans, 2010) definem o termo paraglacial como o período de tempo em que ocorre o ajuste ambiental, iniciado com a exposição de uma área livre de gelo. A partir do momento em que ocorre a retração de uma geleira, os processos paraglaciais passam a atuar, incluindo fluxos de detritos, ravinamentos e retrabalhamento de material (Eichel et al. 2016).

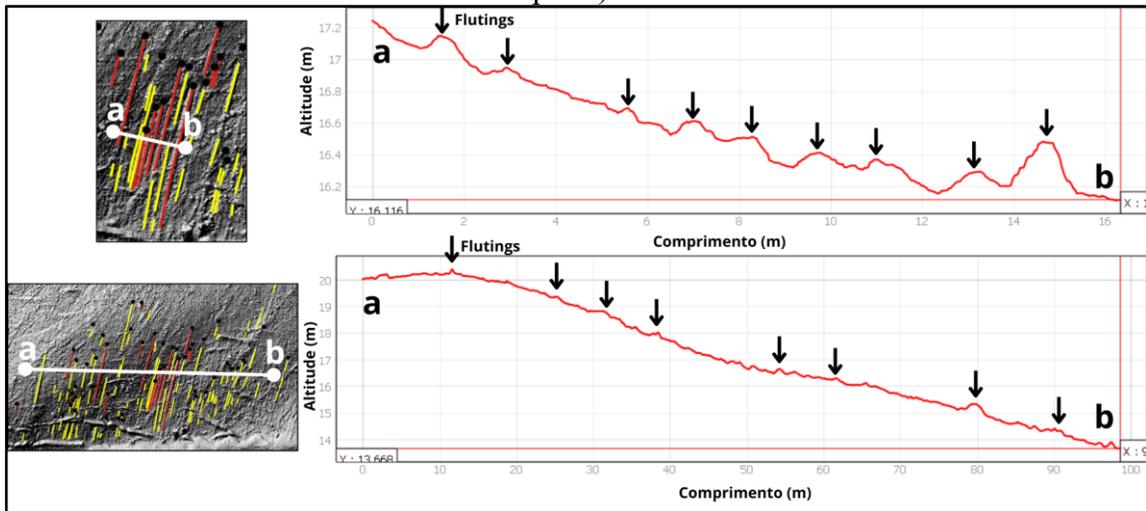
Em termos de resolução espacial, os dados obtidos com VANT são fundamentais para permitir a caracterização de feições geomorfológicas com estas medidas de comprimento e largura. Ao analisar os perfis topográficos observou-se que a altura dos *flutings* é de aproximadamente 20 a 30 centímetros (Figura 3). Ely et al. (2016) também



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA

apontam que a principal vantagem do uso de VANTs é que permitiu definir a morfologia de pequenas formas de relevo.

Figura 3: Perfis topográficos demonstrando a presença de *flutings* (seta em preto).



Fonte: Autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a resolução espacial alcançada por meio do ortomosaico e do MDE gerado por VANT possibilitou o mapeamento e a caracterização morfométrica dos *flutings*, atendendo, assim, ao objetivo proposto na pesquisa. Ressalta-se que essas informações não são identificáveis em outras fontes de dados de Sensoriamento Remoto.

Ademais, como trata-se de um ambiente transitório, os registros destas feições é fundamental para compreender a dinâmica de retração glacial da geleira Vieville e dos mecanismos que envolvem a intensa atividade paraglacial presente na área livre de gelo. Como próximo passo da pesquisa, pretende-se realizar a análise granulométrica e morfoscópica de amostras sedimentares coletadas em 2023, em depósitos relacionados aos *flutings*.

Palavras-chave: Geomorfologia glacial, UAV, Antártica Marítima.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa Antártico Brasileiro e ao INCT da Criosfera



REFERÊNCIAS

BALLANTYNE, C. K. Paraglacial geomorphology. **Quaternary Science Reviews**, v. 21, p. 1935–2017, 2002.

BENN, D. I. Fluted moraine formation and till genesis below a temperate valley glacier: Slettmarkbreen, Jotunheimen, southern Norway. **Sedimentology**, v. 41, n. 2, p. 279-292, 1994.

BENN, D. I.; EVANS, D. J. A. **Glaciers & Glaciation**. London: Hodder Education, 2. ed., p. 802, 2010.

EICHEL, J.; CORENBLIT, D.; DIKAU, R. Conditions for feedbacks between geomorphic and vegetation dynamics on lateral moraine slopes: a biogeomorphic feedback window. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 41, n. 3, p. 406-419, 2016.

ELY, J. C.; CLARK, C. D.; SPAGNOLO, M.; STOKES, C. R.; GREENWOOD, S. L.; HUGHES, A. L.; DUNLOP, P.; HESS, D. Do subglacial bedforms comprise a size and shape continuum? **Geomorphology**, n. 257, p. 108-119, 2016.

ELY, J. C. et al. Using UAV acquired photography and structure from motion techniques for studying glacier landforms: application to the glacial flutes at Isfallsglaciären. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 42, n. 6, p. 877-888, 2017.

GONZÁLEZ-HERRERO, S. et al. Climate warming amplified the 2020 record-breaking heatwave in the Antarctic Peninsula. **Communications Earth & Environment**, v. 3, n. 1, p. 122, 2022.

GORDON, J. E. et al. The formation of glacial flutes: assessment of models with evidence from Lyngsdalen, North Norway. **Quaternary Science Reviews**, v. 11, n. 7-8, p. 709-731, 1992.

LEE, J. R. et al. Climate change drives expansion of Antarctic ice-free habitat. **Nature**, v. 547, n. 7661, p. 49-54, 2017.

LI, Y. et al. Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing for Antarctic Research: A review of progress, current applications, and future use cases. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine**, v. 11, n. 1, p. 73-93, 2023.



LÓPEZ MARTÍNEZ, J. et al. Geomorphology and landforms distribution in selected ice-free areas in the South Shetland Islands, Antarctic Northern Peninsula region. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, Logroño, SPA, v. 42, n. 2, p. 435–455, 2016.

LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. et al. Periglacial processes and landforms in the South Shetland Islands (northern Antarctic Peninsula region). **Geomorphology**, v. 155, p. 62-79, 2012.

PERONDI, C. et al. Glacial geomorphological characterization and glacial sedimentation in Admiralty Bay, Maritime Antarctica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 26, n. 3, 2025.

PERONDI, C. et al. Recentes alterações nas geleiras e nos sistemas paraglaciais, Antártica Marítima. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 2, p. 292-301, 2020.

PETSCH, C. et al. Identification and mesoscale mapping of the proglacial zone of the Collins glacier, King George Island, Antarctica. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 10, p. 18-39, 2019.

SIEGERT, M. et al. The Antarctic Peninsula under a 1.5 C global warming scenario. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, p. 102, 2019.

SLAYMAKER, O. Proglacial, periglacial or paraglacial? In: KNIGHT, J.; HARRISON, S. (eds.). **Periglacial and Paraglacial Processes and Environments**. Geological Society, London, Special Publications, v. 320, Jan. 2009.

ŚLEDŹ, S.; EWERTOWSKI, M. W.; PIEKARCZYK, J. Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) surveys and Structure from Motion photogrammetry in glacial and periglacial geomorphology. **Geomorphology**, v. 378, p. 107620, 2021.

SMITH, M. J.; ROSE, J.; BOOTH, S. Geomorphological mapping of glacial landforms from remotely sensed data: an evaluation of the principal data sources and an assessment of their quality. **Geomorphology**, v. 76, n. 1-2, p. 148-165, 2006.

TERAUDS, A.; LEE, J. R. Antarctic biogeography revisited: updating the Antarctic Conservation Biogeographic Regions. **Diversity and Distributions**, v. 22, n. 8, p. 836-840, 2016.

TURNER, J. et al. Absence of 21st century warming on Antarctic Peninsula consistent with natural variability. **Nature**, v. 535, n. 7612, p. 411-415, 2016.

VAUGHAN, D. G. et al. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. **Climatic change**, v. 60, n. 3, p. 243-274, 2003.