

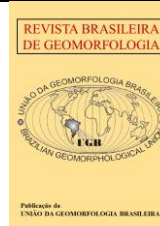


<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 26, nº 3 (2025)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v26i3.2620>



Artigo de Pesquisa

# Caracterização geomorfológica glacial e sedimentação glaciônica na Baía do Almirantado, Antártica Marítima

*Glacial geomorphological characterization and glaciogenic sedimentation in Admiralty Bay, Maritime Antarctica*

Cleiva Perondi<sup>1</sup>, Kátia Kellem da Rosa<sup>2</sup>, Rosemary Vieira<sup>3</sup>, Carina Petsch<sup>4</sup>, Luiz Felipe Velho<sup>5</sup>, Nicholas Becker Pires Pi<sup>6</sup>, Sandra Bromberg<sup>7</sup> e Jefferson Cardia Simões<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Sedimentologia e geomorfologia glacial, Centro Polar e Climático, Porto Alegre, Brasil. E-mail: cleivaperondi@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2202-2721>

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Sedimentologia e geomorfologia glacial, Centro Polar e Climático, Departamento de Geografia, Porto Alegre, Brasil. E-mail: katia.rosa@ufrgs.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0977-9658>

<sup>3</sup> Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Niterói, Brasil. E-mail: rosemaryvieira@id.uff.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0312-2890>

<sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Porto Alegre, Brasil. E-mail: carina.petsch@ufsm.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1079-0080>

<sup>5</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. E-mail:

luiz.velho@poa.ifrs.edu.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9543-7544>

<sup>6</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Sedimentologia e geomorfologia glacial, Centro Polar e Climático, Porto Alegre, Brasil. E-mail: nickbpy@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5068-2267>

<sup>7</sup> Universidade de São Paulo, Departamento de Oceanografia Biológica, Instituto Oceanográfico, São Paulo, Brasil. E-mail: bromberg@usp.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2159-5683>

<sup>8</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Polar e Climático, Departamento de Geografia, Porto Alegre, Brasil.

E-mail: jefferson.simo@ufrgs.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5555-3401>

Recebido: 23/09/2024; Aceito: 09/07/2025; Publicado: 14/07/2025

**Resumo:** O estudo da relação entre a Geomorfologia e processos de sedimentação são importantes, pois, esclarecem informações sobre paisagens relictuais. Esses processos são compreendidos com base nas formas de relevo glaciais e nas características dos seus sedimentos. O objetivo da pesquisa é interpretar as formas de relevo deposicionais glaciais em áreas proglaciais da Baía do Almirantado através de mapeamento geomorfológico elaborado a partir de 9 amostras sedimentológicas e de interpretação de imagens orbitais. Foram coletadas amostras sedimentares de feições deposicionais em trabalho de campo realizado em 2019, que passaram por análises granulométricas e morfoscópicas. A identificação visual das formas de relevo glaciais seguiu critérios como que envolvem a morfologia, a morfométrica, o ambiente deposicional, a sedimentologia e a gênese. Os sedimentos foram interpretados como glaciônicos, relacionados a depósitos morânicos. O mapeamento geomorfológico identificou as formas de relevo glaciais que permitiram compreender sobre os aspectos de direção do fluxo glacial, área da geleira e regime termo-basal. Observou-se que o ambiente subaéreo apresenta relação com o ambiente submarino através de movimentos de massa e do aporte sedimentar a partir da água de degelo. Dessa forma, há

continuidade nos processos relacionados à geleira: quanto mais próximo a ela, mais dinâmico o ambiente, enquanto ao se distanciar o terreno tende a apresentar formas de relevo retrabalhadas ou suavizadas.

**Palavras-chave:** Formas glaciais, Cristas morânicas; Retração glacial; Associação forma-sedimento; ilha Rei George.

**Abstract:** The study of the relationship between geomorphology and sedimentation processes is important as it clarifies information about relict landscapes. These processes are understood based on glacial landforms and the characteristics of their sediments. The objective of this article is to investigate glacial geomorphology and associate it with the attributes of glaciogenic sediments in the proglacial areas of the Baranowski, Windy, and Dobrowolski glaciers in Admiralty Bay, King George Island, and to infer changes in these glacial environments. Sediment samples were collected from depositional features during fieldworks (2019 and 2023), which underwent granulometric and morphoscopic analyses. The visual identification of glacial landforms followed criteria of morphology, morphometric characteristics, depositional environment, sedimentology and genesis. The sediments were interpreted as glaciogenic and related to moraine deposits. The geomorphological mapping identified glacial landforms that provide information on aspects such as the direction of glacial flow, area, and thermo-basal regime. The subaerial environment was observed to be related to the submarine environment through glaciers, mass movements and the sediment supply via meltwater. Thus, there is continuity in the processes related to the glacier: the closer to it, the more dynamic the environment, while as the distance increases, the terrain tends to present reworked or smoothed landforms.

**Keywords:** Glacial landforms; Glacial retreat; King George Islands; Moraine ridge; Sediment-form association.

## 1. Introdução

A Criosfera é um componente importante do sistema climático global (DING et al., 2021). O gelo glacial, incluindo os mantos e calotas de gelo, cobre cerca de 10% da superfície da Terra e armazena 69% da água doce (SHAHGEDANOVA, 2021). Contudo, em decorrência do aquecimento atmosférico, as geleiras em diferentes regiões do planeta têm apresentado balanço de massa negativo, reduzindo a quantidade de gelo global em volume (HOCK e HUSS, 2021).

Ao analisar a região polar austral, a Península Antártica (PA) tem apresentado registros consistentes de aumento na temperatura atmosférica desde meados do século XX (TURNER et al., 2016; SIEGERT et al., 2019). No início de fevereiro de 2020, a PA e as ilhas adjacentes foram afetadas por uma das mais intensas ondas de calor já registradas desde o início das observações confiáveis (BARRIOPEDRO et al., 2022). Como consequência deste aquecimento atmosférico, diferentes estudos apontam a retração contínua das geleiras, desde a segunda metade do século XX, para a Ilha Rei George (IRG) (KEJNA, ARAZNY, SOBOTA, 2013; PERONDI, ROSA, VIEIRA, 2019; ROSA et al., 2020), onde está localizada a área de estudo desta pesquisa.

A retração de geleiras causa a exposição de áreas livres de gelo, que são suscetíveis a mudanças rápidas devido à presença de água de degelo e de sedimentos (BALLANTYNE, 2002), além da exposição do relevo subglacial (DIOLAIUTI; SMIRAGLIA, 2010; SIEGERT et al., 2010). Nesse sentido, destaca-se que os registros geomorfológicos glaciais terrestres fornecem informações sobre extensão, espessura, tempo de glaciação e de deglaciação (SUGDEN et al., 2006), além de direção, padrão de fluxo e regime termal da geleira (BENNET; GLASSER, 1996; NAPIERALSKI et al., 2007).

Os processos erosivos subglaciais são complexos devido às características do embasamento rochoso, da dinâmica glacial, da fricção e da lubrificação na interface gelo-rocha (DREWRY, 1986). Assim, os processos que envolvem erosão, deposição, tipo de transporte e regime termo-basal das geleiras são compreendidos com base nas formas de relevo e nos sedimentos que as compõem, podendo, no caso dos sedimentos, serem verificados a partir das características dos grãos, tais como textura e morfologia (BENNET; GLASSER, 1996). Portanto, as características dos sedimentos que formam as feições de relevo em ambientes glaciais fornecem dados sobre sua origem e sua evolução (KNIGHT et al., 2000).

Em relação à área de estudo, pode-se citar algumas pesquisas envolvendo a análise sedimentar de feições geomorfológicas em áreas livres de gelo da baía do Almirantado, IRG. O mapeamento das feições de relevo deposicionais e erosivas, na área livre de gelo da geleira Wanda, foi realizado por Rosa et al. (2011), a partir de levantamentos de campo, análises sedimentológicas e interpretação de imagens de satélite, identificando o recuo da geleira com base na localização de cristas morânicas. Na enseada Martel, as áreas livres de gelo próximas à geleira Dobrowolski foram analisadas por Perondi et al. (2023), por meio de dados batimétricos e de imagens de satélite. Como resultado desse trabalho, foi realizado o mapeamento de bancos morânicos menores e mais

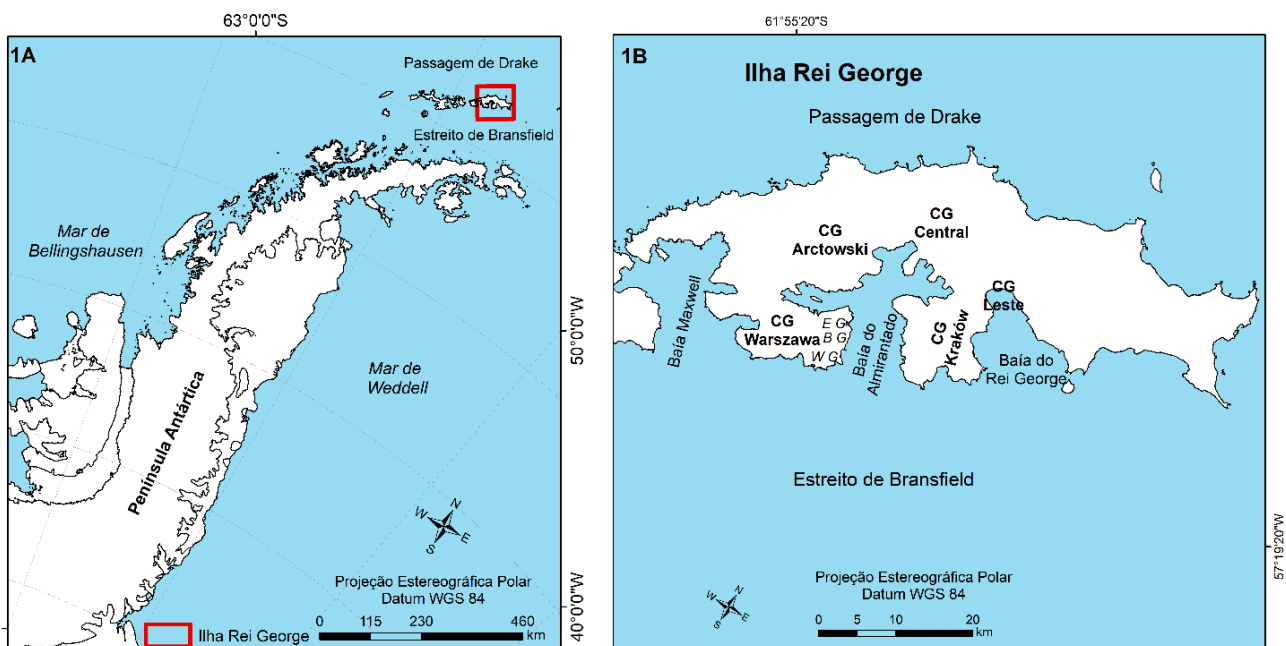
recentes, datados de meados do século XX até as últimas décadas, além de um banco morânico proeminente e mais antigo, relacionado à Pequena Idade do Gelo (aproximadamente de 1550 a 1800).

Os ambientes deposicionais modernos das geleiras Ecology, Baranowski e Windy, situadas na costa oeste da baía do Almirantado, foram estudadas por Perondi *et al.* (2019), que realizaram mapeamento geomorfológico de feições deposicionais de mesoescala com base em análises geomorfométricas e em imagens de satélite. Os autores identificaram a retração das geleiras com base na presença de morainas laterais, morainas frontais de recessão, morainas latero-frontais, *eskers*, e corpos hídricos, como lagos, lagunas e canais de drenagem. A geleira Windy foi estudada por Kreczmer *et al.* (2021), que indicaram a presença de feições como *flutings*, *drumlins* e outras formas de relevo deposicionais na área livre de gelo. Através de mapeamento geomorfológico, esses autores concluíram que a geleira supracitada está retraindo desde 1979, assim como outras situadas nessa margem da baía do Almirantado.

Para o entendimento da evolução da paisagem subaérea, assim como a contextualização da dinâmica de avanço e de recuo de geleiras, é relevante a espacialização das principais feições geomorfológicas subglaciais e marginais ao gelo. Assim, o objetivo desta pesquisa é interpretar as formas de relevo deposicionais glaciais em áreas proglaciais da Baía do Almirantado através de mapeamento geomorfológico elaborado a partir de análises sedimentológicas e de interpretação de imagens orbitais e modelos digitais de elevação.

## 2. Área de Estudo

A IRG (Figura 1B) é a maior ilha do arquipélago das Shetlands do Sul. Esta possui uma área de 1250 km<sup>2</sup>, em seu eixo maior na direção sudoeste-nordeste há uma distância de 80 km, e, aproximadamente, 15 km de largura. A IRG tem 70 bacias de drenagem (BREMER, 1998), e sua calota de gelo apresenta altitude máxima de, aproximadamente, 720 m (RÜCKAMP *et al.*, 2011). Ao Norte, a IRG alcança o estreito de Drake e, ao sul, é separada da PA pelo estreito de Bransfield (BIRKENMAJER, 1980) (Figura 1A).



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo. CG: Campo de gelo, EG: Ecology Glacier, BG: Baranowski Glacier, WG: Windy Glacier. Fonte: Quantarctica (MATSUOKA *et al.*, 2018).

A IRG é coberta por uma calota de gelo dividida em domos conectados por bacias de drenagem que fluem em direção ao ambiente glaciomarinho (BREMER; ARIGONY-NETO; SIMÕES, 2004). O fiorde da BA, situado na costa sul da IRG (Figura 1B), é alongado, com aproximadamente 16 km de comprimento e 6 km de largura em sua porção mais estreita, com paredes íngremes e formato de vale em U, podendo atingir profundidades de até 510 m (MAGRANI, 2014).

A IRG situa-se no centro do arco magmático das Ilhas Shetlands do Sul (KRAUS; POBLETE; ARRIAGADA, 2010), e esteve sujeita a deformação estrutural cenozoica, ligada a movimentos tectônicos da placa ao longo da margem do Oceano Pacífico, que resultou na formação de falhas de diferentes direções (TOKARSKI, 1987). Duas falhas importantes são registradas, com orientação ENE – WSW: a Falha *Ezcurra* (EF) e a Falha Collins (TOKARSKI, 1987). Essas falhas influenciam a forma das ilhas e se reflete na localização e orientação de baías e enseadas (KRAUS; POBLETE; ARRIAGADA, 2010). Por ser amplamente coberta por gelo, a IRG diminui a ação de processos geológicos na superfície e os restringe principalmente à área costeira, em margens de geleiras e *nunataks*. Através da elevação isostática devido à deglaciação nos últimos 10 mil anos, há praias e costas rochosas recentes com sedimentos que variam entre areia e cascalho (BIRKENMAJER, 1980).

A média de temperatura anual, para a IRG, é de  $-2,8^{\circ}\text{C}$ , para os meses de inverno (junho, julho e agosto), com temperatura mínima de  $-15,5^{\circ}\text{C}$  e máxima de  $-1,0^{\circ}\text{C}$ . Para o verão (dezembro, janeiro e fevereiro) a temperatura varia entre  $-1,3^{\circ}\text{C}$  (mínima) e  $2,7^{\circ}\text{C}$  (máxima) (FERRON *et al.*, 2004). O clima da área é influenciado por ciclones com orientação de Leste-Oeste ao redor do continente antártico, os quais propiciam condições para ocorrência de chuvas, chuveiro e neve nos meses de verão. Contudo, quando os ciclones se formam na região do mar de Weddell, trazem para a IRG ar frio, neve e baixas de temperatura (SETZER *et al.*, 2004).

Adjacente ao fiorde, são encontradas geleiras de maré e geleiras com término em terra. As geleiras de maré apresentam desprendimento de *icebergs* ou *growlers* (SILVA; ARIGONY-NETO; BICCA, 2019). Cerca de 10% da superfície total da IRG encontra-se livre de gelo ( $138\text{ km}^2$ ) (DĄBSKI *et al.*, 2020). Como resposta das geleiras às variações climáticas, verifica-se áreas livres de gelo com exposição de feições de relevo, como cristas morânicas, *flutings*, *eskers*, canais de água de degelo e lagos (PERONDI; ROSA; VIEIRA, 2019). Na IRG, há 144 lagos, recobrando  $2.016.169\text{ m}^2$  de sua superfície, distribuídos nas porções sul, leste, sudoeste, sudeste, e oeste da ilha (OLIVEIRA, 2020).

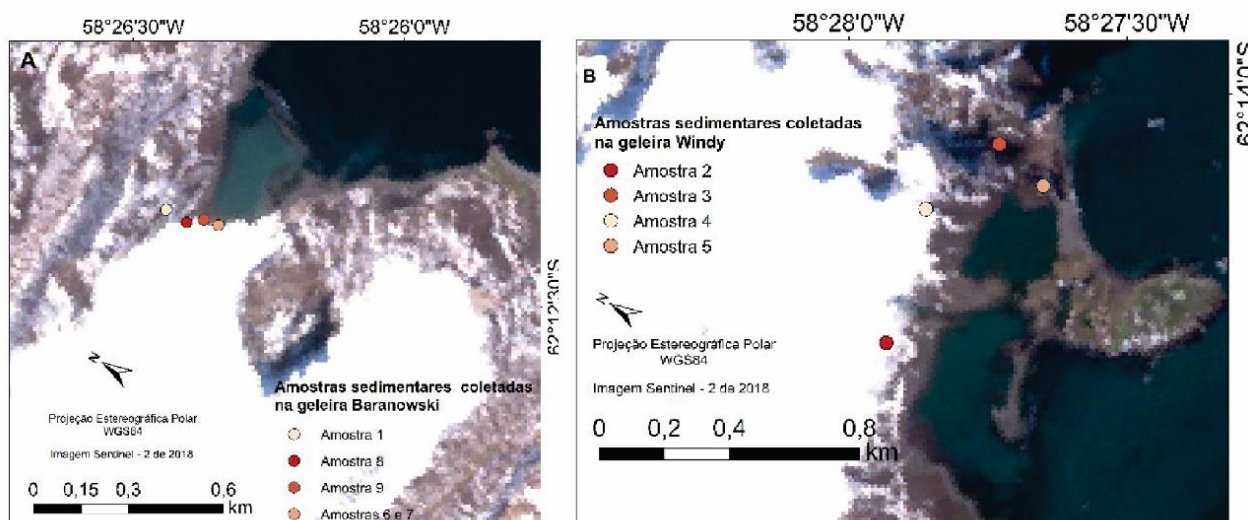
### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Amostras de sedimentos

Foram coletadas 9 amostras de sedimentos durante a OPERANTAR (Operação Antártica) XXXVIII 2019/2020, em feições do setor subaéreo nas áreas livres de gelo das geleiras Windy e Baranowski (Tabela 1 e Figura 2). Os sedimentos foram coletados a 3 cm de profundidade. O material coletado com pá foi embalado em sacos plásticos.

**Tabela 1.** Localização e caracterização das amostras. As amostras sedimentares coletadas na área proglacial da geleira Baranowski são a 1, 6, 7, 8 e 9 e da Windy são a 2, 3, 4 e 5.

Amostras	Coordenadas	Altitude de acordo com WGS84 (m)	Distância da frente da geleira
8	62°11'55.9" S, 58°26'56.7" W	1	1 m
9	62°11'57.2" S, 58°26'54.4" W	1	1 m
7	62°11'58.7" S, 58°26'53.7" W	1	Em contato com a geleira
6	62°11'58.7" S, 58°26'53.7" W	1	Em contato com a geleira
1	62°11'53.5" S, 58°26'56.7 W	22	40 m
2	62°13'44.5"S, 58°28'49.0"W	15	1 m
3	62°13'43.8"S, 58°28'02.0"W	8	290 m
4	62°13'41.0"S, 58°28'21.3"W	16	1m
5	62°13'49.5"S, 58°28'04.6"W	47	380 m



**Figura 2.** Localização das amostras. Figura A – Geleira Baranowski; Figura B – Geleira Windy.

Em cada ponto de coleta, foram registradas as coordenadas geográficas com uso de um GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Na área livre de gelo da geleira Windy, duas amostras localizam-se a 1 m da frente da geleira, enquanto as outras amostras estão a 290 m e 380 m. No que diz respeito à área livre de gelo da geleira Baranowski, duas amostras estão em contato com a frente da geleira; duas amostras estão a cerca de 1 m da frente da geleira; e uma amostra está distante 40 m da frente da geleira (Figura 2).

### 3.2 Análises laboratoriais

As análises sedimentares foram realizadas no Laboratório de Geografia Física do Departamento de Geografia e no Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO) da UFRGS. Foram realizadas as seguintes análises: (i) análise granulométrica; e (ii) análise morfooscópica.

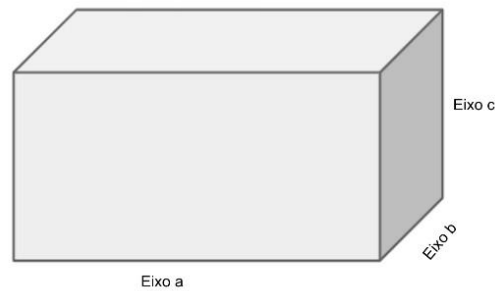
#### 3.2.1 Análise granulométrica

Em laboratório, o material coletado passou por uma peneira com malha 0,064 mm, onde diferenciou-se a granulometria dos sedimentos em “grossos” e “finos” (WENTWORTH, 1922). Os sedimentos com tamanho maior que 0,064 mm foram separados em peneiras com malha decrescente (16 mm – 0,064 mm) e na sequência foi realizada a pesagem por classes texturais (areia, grânulo, seixo e bloco). As frações silte e argila foram separadas pelo método da pipeta, baseado na lei de Stokes.

O grau de seleção dos grãos foi realizado de acordo com Folk e Ward (1957), que fornecem valores estatísticos como: média, assimetria e curtose. Gráficos ternários foram elaborados para representar a distribuição granulométrica de cada amostra, apontando se a variação é unimodal, bimodal ou multimodal.

#### 3.2.2 Análise morfooscópica

Foi realizada a análise morfooscópica dos sedimentos (50 grãos de cada classe) com tamanhos maiores que 1 mm. Foram medidos os eixos com um paquímetro e um microscópio trinocular. Um dos índices utilizados foi o  $C_{40}$ . Ele representa quantos sedimentos de uma amostra tem razão de eixos  $c/a$  (Figura 3) menor ou igual a 0,4 (HANÁČEK *et al.*, 2013). Este índice distingue os sedimentos transportados subglacialmente (baixo índice  $C_{40}$ ) daqueles transportados supraglacialmente (alto índice  $C_{40}$ ) na geleira (BENNET *et al.*, 1997) e os gráficos foram construídos no software *tri-plot*. A forma do clasto foi definida pela relação dos três eixos ortogonais,  $a$  (maior),  $b$  (intermediário), e  $c$  (menor) (HUBBARD; GLASSER, 2005). Foram elaborados gráficos de histogramas no Excel para cada amostra para analisar o grau de arredondamento dos grãos e quantificar a ocorrência de estrias.



**Figura 3.** O eixo a é o eixo mais longo de uma partícula, o eixo b é o eixo intermediário e o eixo c é o eixo mais curto.  
Fonte: Hubbard; Glasser, 2005.

Também foi calculado o índice RA, que mostra o percentual do arredondamento dos grãos, que podem ser: VA - *very angular*; A - *angular*; SR - *sub rounded*; R - *rounded*; e WR - *Well rounded*. A análise do grau de arredondamento foi realizada usando o método de Krumbein (1941), aplicando-se sua tabela de classificação (ROSA, 2008).

### 3.3 Mapeamento geomorfológico

O mapeamento geomorfológico do setor subaéreo foi realizado com a interpretação dos seguintes dados geoespaciais co-registrados: Modelo Digital de Elevação Tandem-X (TanDEM-X, 2025), Modelo de Elevação de Referência da Antártica (REMA) (HOWAT et al., 2022), Sentinel-2 (2018 e 2020), WorldView-2 (2014) e PlanetScope (2019); além dos resultados obtidos com a análise granulométrica e morfoscópica, obtidos no item anterior. Ademais, foram revisados os mapeamentos de geofformas glaciais de Perondi, Rosa e Vieira (2019) para a margem oeste da baía do Almirantado. A identificação das feições de relevo glaciais foi realizada manualmente utilizando o ArcGIS™. A metodologia foi baseada nos critérios de identificação propostos por Bennet e Glasser (1996), Ottesen e Dowdeswell (2006), Benn e Evans (2010), Streuff *et al.* (2015) e Wölfl *et al.* (2016). A metodologia de interpretação das formas envolveu aspectos como a morfologia, as características morfométricas, o ambiente deposicional, a sedimentologia, a gênese e o contexto em relação à geleira - paralelo ou perpendicular ao fluxo de gelo (Tabela 2). Cada forma de relevo foi identificada na imagem de satélite baseado em um critério de identificação visual. Os resultados foram comparados aos das análises sedimentares. As morainas foram comparadas em cada ambiente deposicional conforme o grau de espaçamento entre as cristas. As feições lineares foram interpretadas e classificadas de acordo com a presença ou não de bloco *stoss and lee* na imagem WorldView-2 (2014). Cada forma de relevo recebeu categorização na tabela de atributos do shapefile no Arcgis conforme a Tabela 2.

## 4. Resultados

### 4.1. Caracterização sedimentar

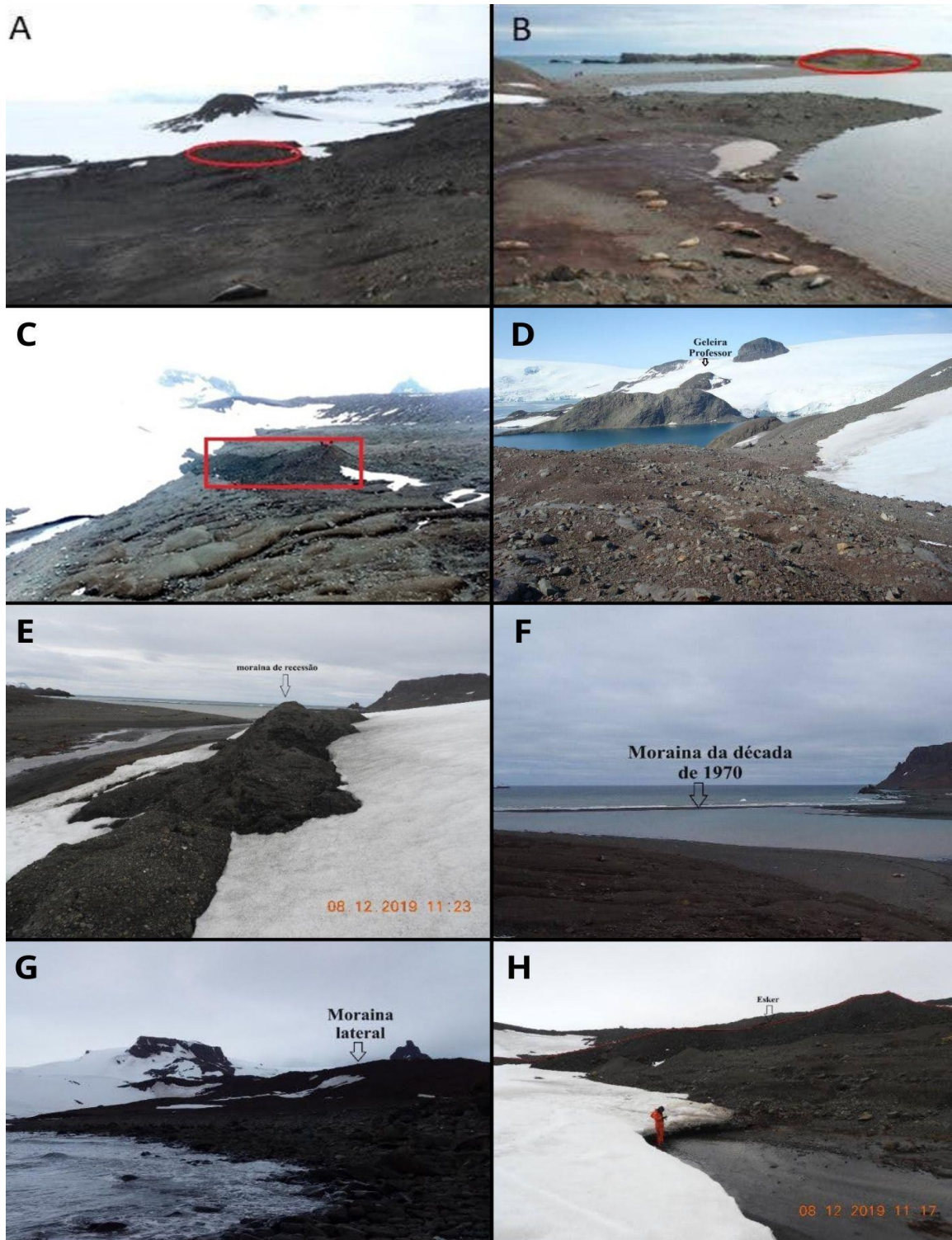
As amostras 1, 6, 7, 8 e 9 foram coletadas na área livre de gelo da geleira Baranowski. A amostra 1 (Figura 4A) foi coletada em feição de relevo alongada, formada próxima e paralelamente à margem da geleira Baranowski (distante, aproximadamente, 22 m), sendo composta, predominantemente, por cascalho e areia muito grossa (Tabela 3), pobremente selecionada, com distribuição polimodal e baixo índice  $C_{40}$  (10%) (Figura 8).

A amostra 6 é classificada como areia cascalhosa muito fina e muito pobremente selecionada. É composta por cascalho 28%, areia 54%, silte 6% e argila 12% (Tabela 3). Possui índice  $C_{40}$  baixo (16%) e distribuição granulométrica polimodal (Figura 6). A amostra 7 contém cascalho arenoso fino (Tabela 3) e pobremente selecionado. É composta por areia e cascalho. Possui baixo índice  $C_{40}$  (12%) (Figura 9) e distribuição granulométrica polimodal (Figura 6). Essa amostra sedimentar foi coletada na interface gelo-rocha na atual frente da geleira Baranowski. A amostra 8, coletada lateralmente à geleira Baranowski, em forma de relevo paralela à mesma (Figuras 2 e 5B), é classificada como cascalho arenoso fino e pobremente selecionado e sua distribuição é polimodal, característica de transporte subglacial. O índice  $C_{40}$  (18%) dessa amostra é baixo. É composta por 54% de cascalho e 46% de areia (Tabela 2).

**Tabela 2.** Critérios metodológicos para identificação de feições de relevo deposicionais e erosivas em ambiente glacial subaéreo.

<b>Forma de relevo</b>	<b>Ambiente deposicional<sup>1</sup></b>	<b>Processo genético</b>	<b>Associação sedimento/forma</b>	<b>Critério de identificação em campo ou na imagem de satélite</b>	<b>Relevância<sup>1</sup></b>
<b>Moraina frontal de avanço</b>	Limite máximo de avanço de uma geleira	Originada da deposição de sedimentos através de movimentos de massa e atividade glacioteclônica	Compostos por grãos grossos, clastos arredondados, facetados, estriados depositados pela ação direta da geleira	Textura rugosa, apresentam um conjunto de cristas, em geral arqueadas, refletem a margem frontal da geleira e estão próximas a margem glacial	Registram estágios glaciais estacionários
<b>Moraina frontal de recessão</b>	Margem frontal da geleira	Formada durante estabilização da frente glacial, durante uma recessão glacial, empurrada ou depositada por um pequeno avanço da geleira	Caracterização sedimentar de <i>till</i> que varia conforme o transporte ativo ou passivo, constituída por grãos grossos e mal selecionados	Textura rugosa. Perpendicular ao movimento do gelo, podem ter forma de crista com poucos metros de elevação, cordão linear ou montículos descontínuos	Documenta estágio estacionário de uma geleira, em seu avanço ou recuo.
<b>Morainas Push</b>	Paralelas às margens das geleiras	Os sedimentos são empurrados durante reavanços e estabilizações glaciais no inverno	Podem ser formadas por depósitos subglaciais, depositados no verão e empurrados no inverno	Textura rugosa. Formato irregular e sinuoso, raramente tem mais de 1 m de altura, cristas elevadas e transversais à frente da geleira	Indica avanço glacial anual no inverno
<b>Esker</b>	Em contato com o gelo (HAMBR EY, 1994; BENNET T; GLASSER, 1996)	Ocorre pela corrente de água subglacial, preenchendo os canais com sedimentos. Corrente de água na interface gelo/rocha	Composição de grãos variada, geralmente grossos, cascalho e areia glaciofluvial com grau de arredondamento devido ao transporte pela água de degelo	Textura rugosa, podem estar isolados, geralmente são cristas individuais com suave declive e com curvas sinuosas em perfil longitudinal. Sua orientação obedece a drenagem direção do fluxo glacial	Indica fluxo hídrico de canal subglacial, base termal úmida e direção do fluxo de gelo. Registram a localização de canais subglaciais
<b>Canais de degelo</b>	Com ou sem contato com geleira	Fluvial com descarga de água de degelo	Maior granulometria, detritos refletem o transporte pela água	Textura fina, tons mais escuros em composições coloridas de bandas que aplicam o infravermelho próximo. Canais de tipo entrelaçado	Evidencia avanço e recuo da geleira

<sup>1</sup>Informações baseadas nos trabalhos de Sugden; John (1984), Hambrey (1994), Bennet; Glasser (1996), Brennard (2004), Assine; Vesely (2008), Benn; Evans (2010), Dąbski (2020).



**Figura 4.** Representação dos sítios amostrais e das geomorfias existentes na área de estudo. Em (A) local da amostra 4; em (B) amostra na frente da geleira Windy (C) indica o local de coleta da amostra 1; em (D) escarpa lateral à geleira Professor e vista para a geleira Dobrowski; (E) mostra a moraina recessional na geleira Baranowski; em (F) tem-se o registro da moraina latero-frontal que represa a laguna em frente à geleira Baranowski; em (G), há a moraina lateral à geleira Baranowski; e, em (H), apresenta-se um Esker lateral à geleira Baranowski. Fonte: Fotografias obtidas por Cleiva Perondi (2019) e Rosemary Vieira (2019).

A amostra 9 (Figura 2) é classificada por ser cascalho arenoso muito fino e pobremente selecionado. Sua distribuição granulométrica é polimodal. Possui baixo índice  $C_{40}$  (18%) (Figuras 8 e 9). É composta por areia 67% e



cascalho 33% (Tabela 3). Essa amostra foi coletada na frente da geleira Baranowski, perpendicular ao fluxo glacial e próximo a um canal de drenagem.

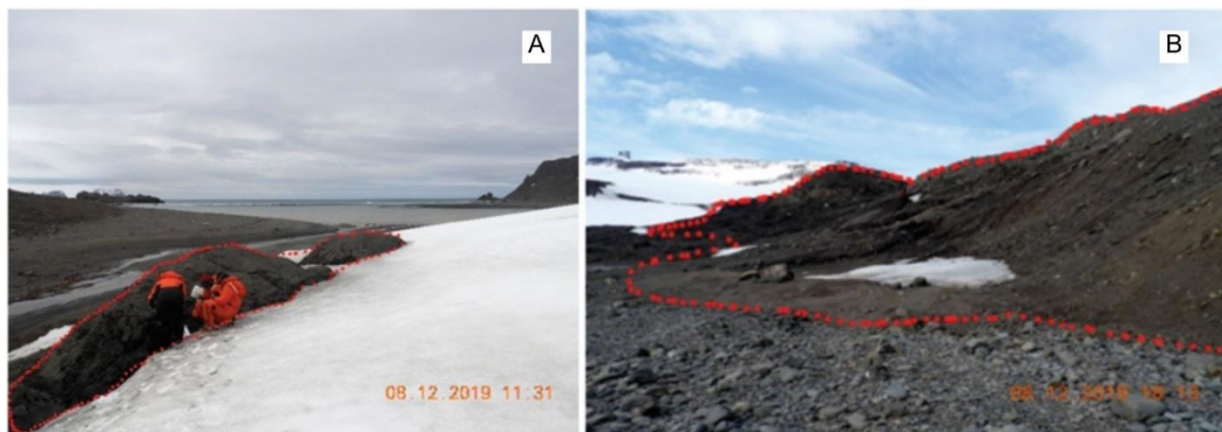
**Tabela 3.** Characteristics of the sediment samples analyzed. Samples 2, 3, 4, and 5 are from Windy Glacier, and samples 1, 6, 7, 8, and 9 are from Baranowski Glacier.

Amostra	Cascalho (grânulo a matacão) (%)	Areia (%)	Silte e Argila (%)	Classe textural (Folk; Ward, 1957)
1	60	40	0	Areia muito grossa
2	28	71	1	Areia muito grossa
3	22	76	2	Areia muito grossa e cascalhosa fina
4	38	59	3	Cascalho grosso arenoso
5	68	32	0	Cascalho arenoso muito fino
6	28	54	18	Areia cascalhosa muito fina siltosa
7	48	52	0	Cascalho arenoso fino
8	54	46	0	Cascalho arenoso fino
9	33	67	0	Cascalho arenoso muito fino

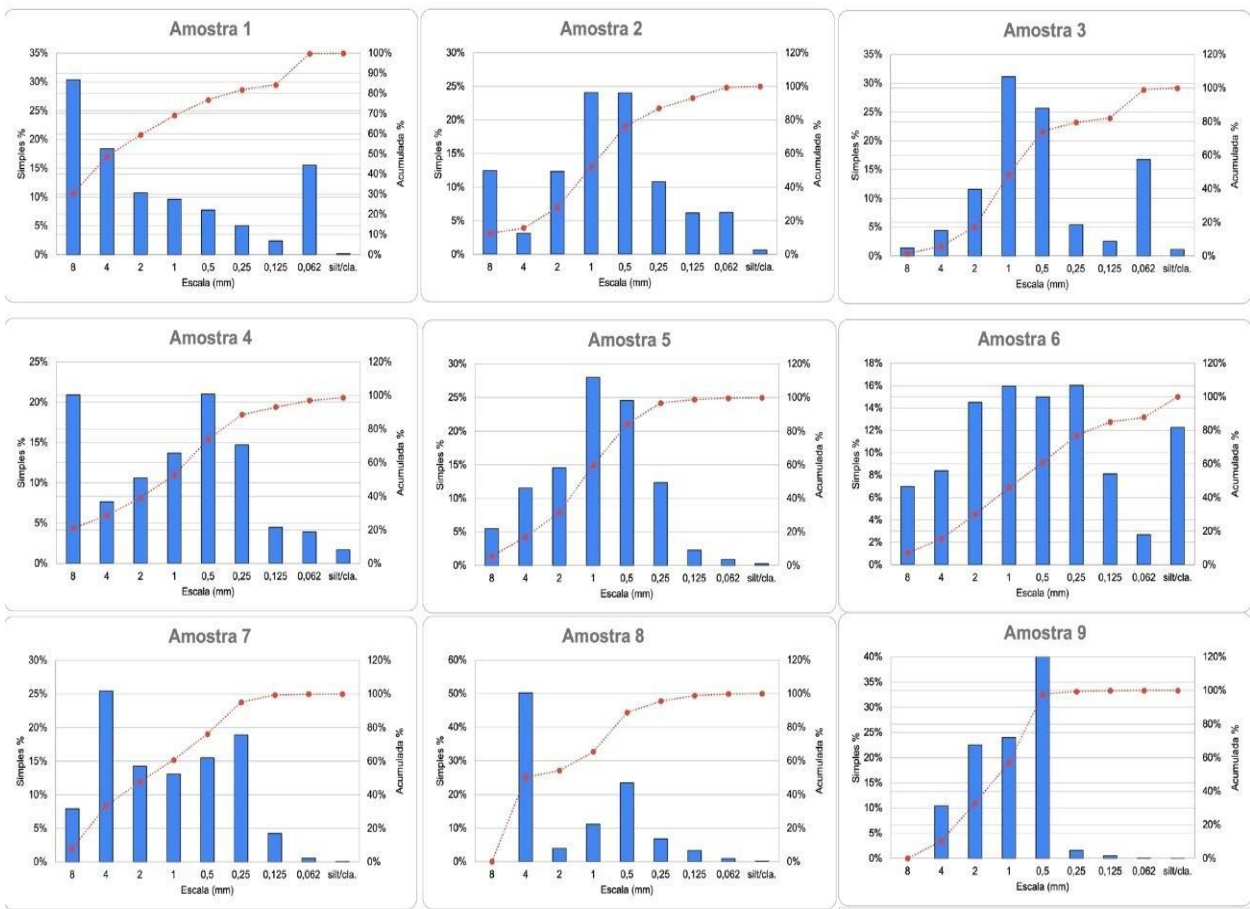
As amostras 2, 3, 4 e 5 foram coletadas na frente da geleira Windy. A amostra 2 (Figura 2) é classificada como areia muito grossa e pobremente selecionada. Possui baixo índice  $C_{40}$  (32%) e distribuição granulométrica polimodal. É composta por areia e cascalho, 71% e 28%, respectivamente, e, em quantidades menores, por silte e argila (Tabela 3). Essa amostra foi coletada adjacente à frente da geleira Windy em um depósito com disposição espacial perpendicular à margem glacial.

A amostra 3 (Figuras 2 e 4B) é composta por areia muito grossa, cascalhosa fina e pobremente selecionada. Sua distribuição granulométrica é polimodal e apresenta baixo índice  $C_{40}$  (24%) (Figura 8). É composta por areia e cascalho, 76% e 22%, respectivamente, e, em menor quantidade, por silte e argila (Tabela 3). O local onde a amostra 3 foi coletada representa um depósito com disposição espacial paralelo e lateral à geleira Windy (Figura 5B).

A amostra 4 (Figura 2 e 4A) é formada por cascalho grosso arenoso e muito pobremente selecionado e possui baixo índice  $C_{40}$  (20%). Essa amostra foi coletada nas adjacências frontais da geleira Windy, com orientação paralela à margem glacial, possui predominância de material arenoso (59%) e, em menor proporção, de cascalho, silte e argila, respectivamente (Tabela 2). A amostra 5 (Figuras 2 e 4B) é composta por cascalho arenoso muito fino e pobremente selecionado. Sua distribuição é polimodal (Figura 6).



**Figura 5.** A– Local de coleta da amostra 8 e B – local de coleta da amostra 3 no ambiente proglacial. As linhas pontilhadas em vermelho mostram a forma de relevo onde foram coletadas as amostras sedimentares. Fotografias obtidas por Rosemary Vieira (2019).

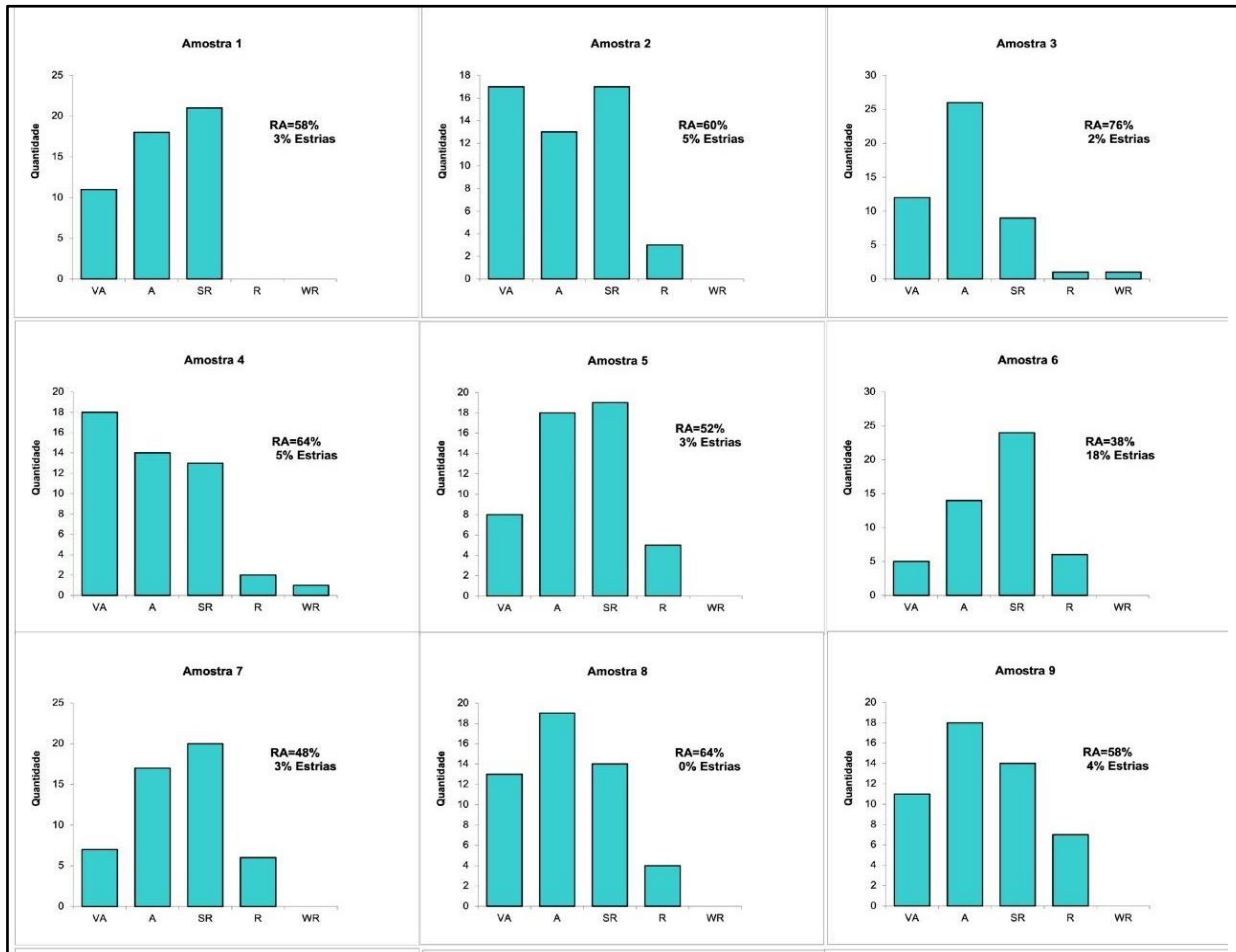


**Figura 6.** Distribuição granulométrica para cada amostra sedimentar coletada. A frequência absoluta simples é apresentada em percentual.

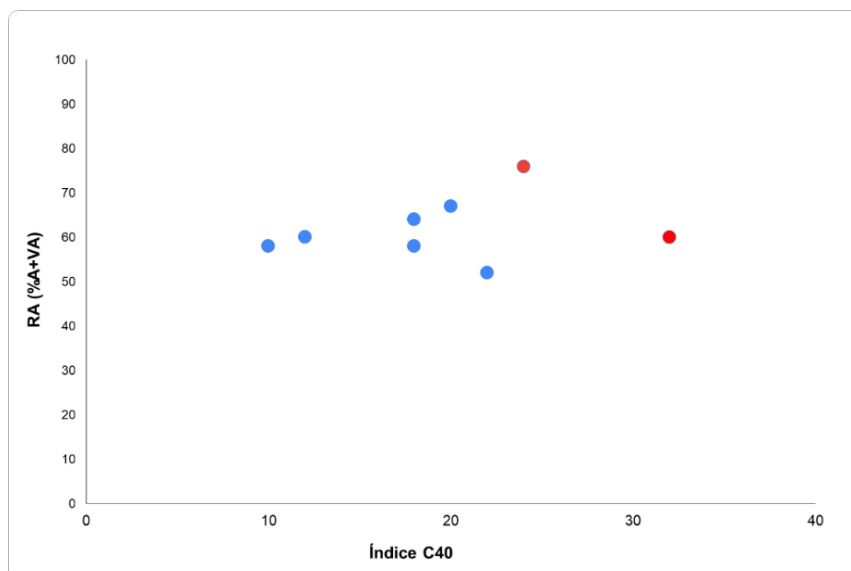
A amostra 5 é formada, predominantemente, por cascalho (68%) e possui baixo índice  $C_{40}$  (22) (Figura 8 e 9). Essa amostra sedimentar foi coletada distal, aproximadamente 380 m, à atual frente da geleira Windy. As amostras sedimentares da área livre de gelo da geleira Windy possuem uma média de areia grossa em duas amostras e areia muito grossa em outras duas amostras. Em relação as amostras coletadas na área livre de gelo da geleira Baranowski.

Todas as amostras, exceto a amostra 8, apresentam grãos estriados. A amostra 6 tem maior proporção de estrias (18%) (Figura 7). Em relação aos gráficos ternários (Figura 9), observa-se uma alta proporção de grãos com  $c:a$  abaixo de 0,4 em todas as amostras. Os gráficos mostram que as amostras estão na região localizada na parte superior do gráfico ternário, indicando grãos esféricos.

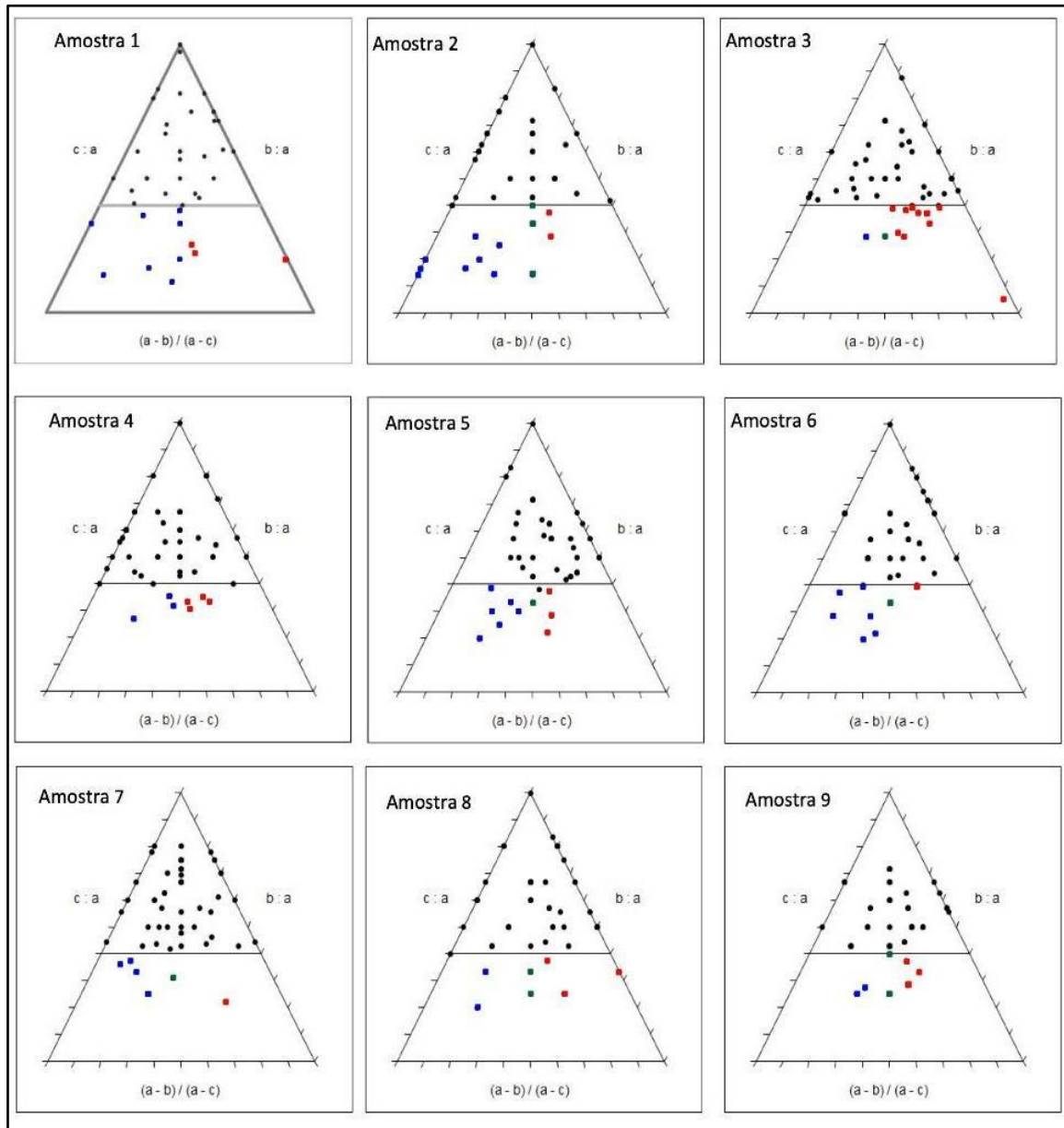
Os gráficos de covariância entre os índices RA e  $C_{40}$  (de acordo com Benn e Ballantyne, 1994; Figura 8) mostram que a amostra 7 possui porcentagem intermediária de grãos angulares e clastos alongados e achatados (valores intermediários de RA e alto  $C_{40}$ ) e se diferencia das demais amostras com baixa porcentagem de grãos angulares e clastos alongados e achatados (valores de RA baixos a médios e  $C_{40}$  baixos) (amostras 1-6, 8-9) (Figura 8).



**Figura 7.** Características da forma dos grãos para cada amostra coletada. VA: very angular, A: angular, SR: sub rounded, R: rounded and WR: Well rounded. RA: índice percentual dos grãos angulosos.



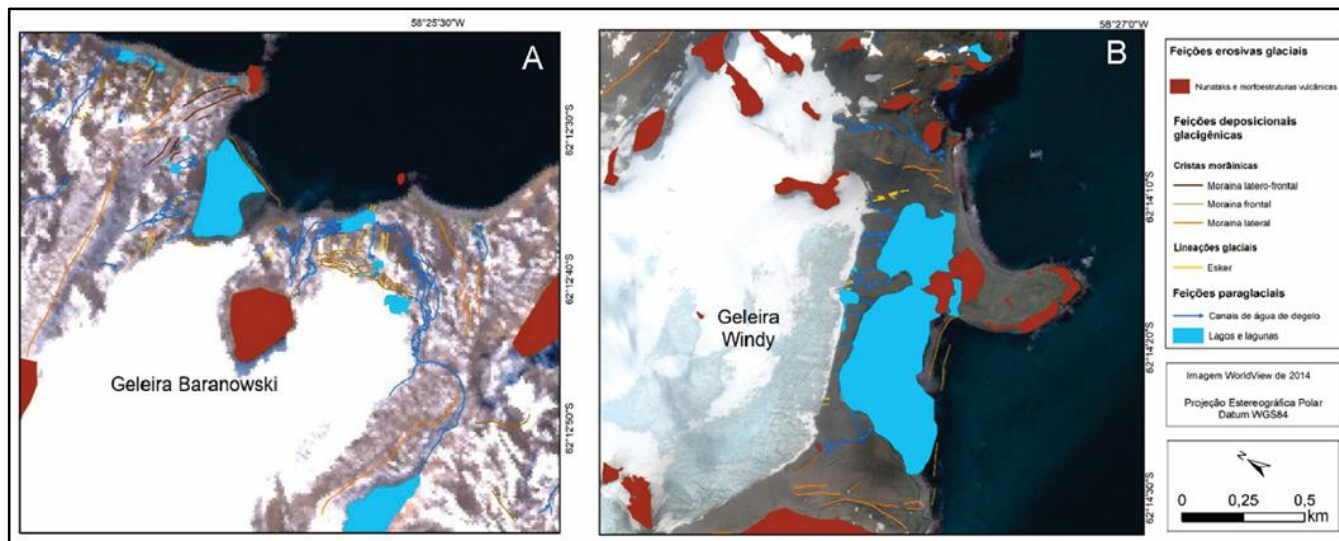
**Figura 8.** Diagrama de co-variância (RA/C40). O gráfico mostra que as amostras estão agrupadas em 2 tipos (vermelho para o predomínio de valores baixos e azul com predomínio de valores mais altos).



**Figura 9.** Gráficos ternários. A linha reta indica o limite 0,4 para c:a e b:a. Grãos em preto e acima dessa linha estão na parte superior do gráfico e em direção a maior esfericidade (blocos ou cubos), os grãos azuis e em direção ao canto inferior esquerdo são achatados (em disco) e os grãos em vermelho e em direção ao canto inferior direito são alongados (eixo maior > que o eixo intermediário) (os grãos intermediários estão em verde).

#### 4.2 Mapeamento geomorfológico das formas glaciais

A realização do mapeamento geomorfológico permitiu identificar e espacializar as feições de relevo deposicionais e erosivas, auxiliando na compreensão de processos proximais e distais da margem glacial atual. Nas áreas proglaciais das geleiras Baranowski e Windy (10A e 10B) foram identificadas formas de relevo deposicionais, que evidenciam características pretéritas da geleira, como por exemplo, antigas posições das margens das geleiras, direção de fluxo paleoglacial, regime termo-basal, entre outras. Dentre as geoformas identificadas no mapeamento geomorfológico estão as morainas (laterais, frontais e latero-frontais), algumas perdem sua continuidade no mar, além de lagos, lagoas e canais de degelo. Foram identificados *eskers*; há também formas erosivas, como os nunataks e morfoestruturas vulcânicas.



**Figura 10.** A. Mapa geomorfológico das feições de relevo glaciais da área proglacial A. Geleira Baranowski. Imagem de satélite utilizada nesse mapa: Sentinel-2 de 2018. B. Geleira Windy. Imagem de satélite utilizada nesse mapa: WorldView-2 de março de 2014.

## 5. Discussões

### 5.1 Associação entre processos e geomorfias dos ambientes deposicionais proglaciais

As formas transversais ao fluxo de gelo e proeminentes no setor proglacial foram interpretadas como morainas. As morainas são formadas pela deposição direta da geleira na margem frontal das geleiras (BENNET; GLASSER, 1996) e registram as antigas posições das frentes glaciais. As maiores cristas morânicas indicam momentos de estabilização glacial mais longos e de menor velocidade (OTTESEN; DOWDESWELL, 2009; BRINKERHOFF et al., 2017). A amostra 8 e a 9, por sua localização, observada durante o trabalho de campo, em contato com o gelo, e seu formato, levemente arqueado e perpendicular ao fluxo glacial, foram interpretadas como uma moraina frontal de recessão (Figura 4B e 4E).

Foram identificadas morainas latero-frontais na área de estudo. Essa feição deposicional forma-se lateral e frontal à margem da geleira (Figuras 4B e 4F). Essas cristas morânicas são externas, mostrando o avanço máximo da geleira em um evento de resfriamento ocorrido no início da década de 2000, registrado por Turner et al. (2016). Dessa forma, representam uma estabilização da frente glacial e uma recessão posterior.

Foi identificada uma feição deposicional com configuração espacial distinta, pois está posicionada lateralmente às geleiras Baranowski (Figura 4G) e Windy. Essa forma de relevo registra a extensão lateral da geleira e sua antiga espessura (BENNET; GLASSER, 1996). Foram coletadas amostras de morainas laterais às geleiras Windy, a amostra 8, e Dobrowolski.

Foi identificado um esker na margem lateral à geleira Baranowski, em contato com o gelo (amostra 1 e Figura 4H). Essas formas de relevo também foram identificadas em contato e proximal à frente da geleira Windy (Figura 10B). Na área de estudo os eskers foram identificados com formato sinuoso, alguns estão bem preservados e com até 97 m de comprimento (amostra 1). A maioria dos eskers encontrados na área de estudo estão em terrenos livres de gelo há mais tempo (ROSA et al. 2011; DAŹSKI et al., 2020). Na geleira Ecology, Rosa et al. (2013) identificaram um esker proximal à frente glacial, em contato com a laguna Ecology. Essa feição indica regime termal basal úmido da geleira e a direção do fluxo glacial (BENN; EVANS, 2010).

Foram identificadas formas que apresentam formato retilíneo e alongado e menores que os eskers identificados nessas mesmas geleiras. Na área de estudo há flutings com alguns poucos metros de comprimento, que foram retrabalhados e por isso perdem sua continuidade e alguns que chegam a 33 m, todos estão sem contato com a geleira. Esses representam deformação subglacial dentro de cavidades que se desenvolvem à jusante de matacões alongados, polidos e assimétricos (stoss and lee), conforme Rosa et al. (2011). Os flutings na área de estudo estão a jusante de blocos *stoss and lee*. Essas formas erosivas possuem assimetria e indicam geleiras com altas velocidades e gelo pouco espesso (GLASSER; BENNET, 2004). Os flutings são formas de relevo deposicionais

alongadas e paralelas ao fluxo glacial, são subglaciais e indicam que a geleira possui base termal úmida, pouca espessura e direção do fluxo glacial (BENNET; GLASSER, 1996).

Depósitos de *till* de alojamento e subglacial são constituídos de sedimentos pobremente selecionados, podem ser estratificados e massivos. A interpretação da associação das fácies é relevante para distinguir os processos e ambientes ou a sequência de eventos (retração, maior derretimento, avanço) (BENN; EVANS, 2004). O *till* basal é caracterizado por ser multimodal (HOEY, 2004) e estudos mostram que é comum a presença grãos polidos e estriados, além de baixo índice RA e C<sub>40</sub> (BENN, 2004). Mudanças ou eventos anuais podem ser evidenciadas por um contato erosivo na camada limite de sedimentos estratificados ou por laminado (ambiente deposicional marginal ao gelo com variações sazonais, fluxo subglacial ou ação de água de degelo) para massivo (deposição *lodgement till* ou deformação subglacial) (BENN; EVANS, 2004). Um avanço da margem glacial sobre uma sequência de leques ou deltas proglaciais causa a deformação subglacial dos sedimentos (BENN; EVANS, 2004).

### 5.2 Indicativos do tipo de transporte sedimentar (ativo ou passivo)

Os sedimentos das morainas se caracterizam pela granulometria mal selecionada e pelo comportamento bimodal/multimodal. A maioria das amostras relacionadas a essas formas possui valores altos de RA e baixos de C<sub>40</sub>, com grãos angulares a muito angulares. A amostra 8, coletada em moraina recessional (Figura 5A), em contato com a geleira Baranowski. É composta por 54% de cascalho e 46% de areia, sendo que os sedimentos finos podem ter sido transportados pela água (Tabela 2). A morfologia sedimentar de distintos ambientes deposicionais varia de acordo com o seu histórico de erosão, de transporte e de deposição (BENN, 2004). Sua distribuição multimodal é típica de transporte ativo (BENN; EVANS, 2010). O índice C<sub>40</sub> baixo indica transporte subglacial ativo e grãos bastante modificados durante o transporte ativo, com formato mais esférico.

A amostra 9 foi coletada próximo a um canal de drenagem, marginal à atual frente da geleira Baranowski, seus sedimentos são influenciados pela oscilação das marés, contribuindo para seu retrabalhamento e remobilização. As zonas marginais às geleiras possuem sedimentos grossos, pois estão próximas às áreas fontes (TRUSEL et al., 2010). As amostras com características semelhantes entre si são a 6 e a 7, pois a covariância RA/C<sub>40</sub> indica mistura de modos de transporte e pode ser indicadora de mistura de litologias.

Em relação às características sedimentares das amostras associadas com as formas subglaciais há um maior selecionamento dos grãos do que as demais amostras. As amostras 1 e 5 compartilham similaridades quanto ao baixo C<sub>40</sub> e a proporção de grãos angulares a subarredondados, os quais são indicativos de transporte subglacial ativo (abrasão, fragmentação e polimento) com alta energia de transporte e presença de água de degelo subglacial.

A amostra 1, coletada na área proglacial da geleira Windy, em um plano alto, distal e perpendicular à frente da geleira, possui o tipo de distribuição granulométrica típica de grãos transportados subglacialmente. Esses sedimentos passam por processos como abrasão e fragmentação, que geram muitas partículas finas e quebra de grãos (BENN; EVANS, 2010). O transporte de sedimento subglacial é confirmado pelo baixo índice C<sub>40</sub> dessas amostras e pela presença de grãos bastante modificados durante o transporte, com formato subarredondado a angular. Os *flutings* são reconhecidos na área de estudo por apresentar sedimentos mais selecionados do que das morainas, baixos valores de C<sub>40</sub>, grãos arredondados e estriações. Esse depósito pode sofrer retrabalhamento, tendo sua porção sedimentar fina transportada para áreas distais à atual frente da geleira.

A amostra 5 possui baixo índice C<sub>40</sub> (22%), evidenciando transporte subglacial e grãos bastante modificados durante o transporte ativo, com formato mais esférico. A baixa ou inexistente presença de depósitos finos indica que esses podem ter sido transportados, pela ação hídrica, para outros locais, restando somente os grãos maiores.

A análise de características morfoscópicas e granulométricas possibilitou inferir a gênese (subglacial, englacial e supraglacial) dos sedimentos glaciogênicos. As características sedimentares dos depósitos de *flutings*, *eskers*, morainas são descritas para outros ambientes proglaciais na mesma ilha e são base para a interpretação dessas formas de relevo e validação dos mapeamentos gerados. Para os estudos de Kreczmer *et al.* (2021), Perondi, Rosa e Vieira (2019) e Perondi *et al.* (2023) não há registros sedimentares para a caracterização das formas de relevo citadas. O estudo da relação entre a geomorfologia do local e os processos de sedimentação foram importantes para obter informações sobre processos relictuais.

## 6. Considerações finais

As análises sedimentológicas e geomorfológicas das áreas proglaciais das geleiras Windy e Baranowski evidenciam a diversidade de processos deposicionais e erosivos associados à dinâmica glacial. Foram identificadas feições deposicionais, como morainas, eskers e flutings. A maior parte das amostras possuem grãos estriados, sugerindo que são depósitos glaciogênicos. As diferenças nas características granulométricas e morfoscópicas entre as amostras demonstram uma relação direta entre os processos de transporte, deposição e erosão, bem como a influência do regime termo basal úmido das geleiras.

O transporte subglacial ativo (abrasão, fragmentação e polimento) com alta energia de transporte e presença de água de degelo subglacial foi identificado a partir das características sedimentares de amostras obtidas nas áreas proglaciais das geleiras Windy e Baranowski. No entanto, de forma geral, as amostras coletadas junto a geleira Baranowski mostram um maior grau de retrabalhamento dos grãos durante o transporte glacial. Em relação às amostragens na área proglacial da geleira Windy, recomenda-se a ampliação do número amostral em áreas que se tornaram livres de gelo antes da década de 1970 e da moraina lateral para a comparação entre os processos e características sedimentares que possam indicar as alterações nos processos glaciais e a presença de sedimentos não modificados pelo intemperismo.

A precipitação e a temperatura atmosférica são elementos fundamentais que condicionam o comportamento das geleiras ao longo do tempo, influenciando seu avanço, recuo e a duração de sua estabilidade. Períodos prolongados de estabilização frontal podem ser mais bem compreendidos a partir de estudos futuros sobre a cronologia de depósitos, como as morainas laterais mais extensas e proeminentes na área de estudo. É relevante ampliar as datações de registros sedimentares na Baía do Almirantado, a fim de permitir uma caracterização mais precisa das flutuações das frentes glaciais anteriores à década de 1950.

As morainas frontais recessionais evidenciam momentos de estabilização da frente glacial seguidos de retração, revelando como as geleiras respondem às variações na temperatura atmosférica. Ambas as geleiras analisadas apresentam um ambiente proglacial com a presença de diversas formas deposicionais glaciais, além de terem sofrido acentuada retração nas últimas décadas. A diminuição da espessura dessas geleiras nos anos recentes é evidenciada pela presença de bancos morânicos menores ou mesmo ausentes no ambiente marginal ao gelo, especialmente no caso da geleira Windy.

Ademais, diante da perda de área das geleiras que terminam em ambiente marginal terrestre, observa-se a formação de novas áreas livres de gelo, com o surgimento de dinâmicas ambientais e configurações distintas em um setor altamente suscetível à atividade paraglacial. Dessa forma, o monitoramento das transformações nessas formas de relevo e nos setores adjacentes é essencial para a compreensão dos processos geomorfológicos e hidrológicos em curso.

Trabalhos futuros podem buscar a espacialização das feições deposicionais de relevo em mesoescala, utilizando dados provenientes de outras pesquisas e imagens de alta resolução espacial, com o objetivo de aprofundar a compreensão dos processos atuantes nas porções proximal e distal da atual margem glacial.

**Contribuições dos Autores:** Concepção, Cl.P. e K.K.R.; metodologia, Cl.P., K.K.R.; análise formal, Cl.P. e K.K.R.; preparação de dados, Cl.P., K.K.R., L.F.V., Ca.P. N.P., S.G.; escrita do artigo, Cl.P., K.K.R., L.F.V., Ca.P.; revisão, Cl.P., K.K.R., L.F.V., Ca.P., R.V. e J.C.S. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

**Financiamento:** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo suporte à pesquisa.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) Projeto 465680/2014-3 (INCT da Criosfera), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo suporte à pesquisa.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.

## Referências

1. ANGIEL, P.J.; DĄBSKI, M. Lichenometric ages of the little ice age moraines on King George Island and of the last volcanic activity on Penguin Island (West Antarctica). **Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography**, v. 94, n. 3, p. 395–412, 2012. DOI: 10.1111/j.1468-0459.2012.00460.x

2. ASSINE, M.L.; VESELY, F.F. Ambientes Glaciais. In: PEDREIRA DA SILVA, A.J.; ARAGÃO, A.N.F.; MAGALHÃES, A.J.C. (Eds.). **Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil**. São Paulo: Ed. Beca, p. 24-51, 2008.
3. ARNDT, J.E.; EVANS, J. Glacial lineations and recessional moraines on the continental shelf of NE Greenland. **Geological Society Memoirs**, v. 46, p. 263-264, 2016. DOI: 10.1144/M46.81
4. BALLANTYNE, C.K. Glacial landforms, ice sheets: Trimlines and palaeonunataks. **Encyclopedia of Quaternary Science**, p. 892-903, 2007. DOI: 10.1016/B0-44-452747-8/00100-9.
5. BALLANTYNE, C.K. Paraglacial geomorphology. **Quaternary Science Reviews**, v. 21(18-19), p. 1935-2017, 2002. DOI: 10.1016/S0277-3791(02)00005-7
6. BARRIOPEDRO, D.; TRIGO, R. M.; ALBERT, J.; OLIVA, M. Climate warming amplified the 2020 record-breaking heatwave in the Antarctic Peninsula. **Communications Earth & Environment**, v. 3(1), p. 1-9, 2022. DOI: 10.1038/s43247-022-00450-5
7. BATCHELOR, C.L.; DOWDESWELL, J.A.; RIGNOT, E. Submarine landforms reveal varying rates and styles of deglaciation in North-West Greenland fjords. **Marine Geology**, v. 402, p. 60-80, 2018. DOI: 10.1016/j.margeo.2017.08.003
8. BENN, D.I.; BALLANTYNE, C.K. Reconstructing the transport history of glaciogenic sediments – a new approach based on the covariance of clast form indices. **Sedimentary Geology**, v. 91, p. 215-227, 1994. DOI: 10.1016/0037-0738(94)90130-9
9. BENN, D.I. 2004. Clast morphology. In: **A Practical Guide to the Study of Glacial Sediments**. 1<sup>o</sup> edition, Quaternary Research Association, London, 375 p.
10. BENN, D.I.; EVANS, D.J.A. **Glaciers and glaciation**. 2<sup>a</sup> ed. London: Hodder Education, 2010. 802p.
11. BENNETT M.R.; GLASSER, N.F. **Glacial geology – ice sheets and landforms**. England: John Wiley & Sons Ltd. 1996. 364 p.
12. BIRKENMAJER, K. Geology of Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands) – An outline. **Polish Polar Research**, v. 1, n. 1, p. 29-54, 1980.
13. BREMER, U.F. **Morfologia e bacias de drenagem da cobertura de gelo da ilha Rei George, Antártica**. Dissertação (Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 117p. 1998.
14. BREMER, U.F.; ARIGONY-NETO, J.; SIMÕES, J. C. Teledetecção de mudanças nas bacias de drenagem do gelo da ilha Rei George, Shetlands do Sul, Antártica, entre 1956 e 2000. **Pesquisa Antártica Brasileira**, v. 4, p. 37-48, 2004.
15. BRENNAND, T. A. (2004). Glacifluvial. In: GOUDIE, A. S. (Ed.) *Encyclopedia of geomorphology*. London: Routledge, v. 1, p. 459-465.
16. BRINKERHOFF, D.; TRUFFER, M.; ASCHWANDEN, A. Sediment transport drives tidewater glacier periodicity. **Nature Communications**, v.8, n. 1, p. 90–98, 2017. DOI: 10.1038/s41467-017-00095-5
17. CASALBORE, D. Volcanic Islands and Seamounts. In: MICALLEF, A.; KRASTEL, S.; SAVINI, A. (Eds.). **Submarine Geomorphology**. Springer Geology, p. 333-347, 2018.
18. CAREY, S. Volcaniclastic sedimentation around island arcs. In: SIGURDSSON H. (Ed). **Encyclopedia of volcanoes**. Academic Press, San Diego, p. 627–642, 2000.
19. DĄBSKI, M.; ZMARZ, A.; RODZEWICZ, M.; KORCZAK-ABSHIRE, M.; KARSZNIA, I.; LACH, K.M.; RACHLEWICZ, G.; CHWEDORZEWSKA, K.J. Mapping Glacier Forelands Based on UAV BVLOS Operation in Antarctica. **Remote Sensing**, v. 12, n. 4, 2020. DOI: 10.3390/rs12040630
20. DING, Y.; MU, C.; WU, T.; HU, G.; ZOU, D.; WANG, D.; LI, W.; WU, X. Increasing cryospheric hazards in a warming climate. **Earth-Science Reviews**, 213, 103500, 2021. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103500
21. DIOLAIUTI, G.; SMIRAGLIA, C. Changing glaciers in a changing climate: How vanishing geomorphosites have been driving deep changes in mountain landscapes and environments. **Geomorphologie: Relief, Processes, Environment**, v. 16, n. 2, p. 131-152, 2010. DOI: 10.4000/geomorphologie.7882
22. DIONNE, J.C. 1987. Tadpole rock (rocdrumlin): a glacial streamline moulded form. In: Menzies, J.; Rose, J. (eds), **Drumlin Symposium**. Balkema, Rotterdam, 149–59.
23. DOWDESWELL, J.A.; OTTESEN, D.; RISE L. Flow-switching and large-scale deposition by ice streams draining former ice sheets. **Geology**, v. 34, p. 313–316, 2006. DOI: 10.1130/G22253.1



24. DOWDESWELL, J.A.; OTTESEN, D.; NOORMETS, R. Submarine slides from the walls of Smeerenburgfjorden, NW Svalbard. In: DOWDESWELL, J.A.; CANALS, M.; JAKOBSSON, M.; TODD, B.J.; DOWDESWELL, E.K.; HOGAN, K.A. (Eds.). **Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient**. p. 105–106, 2016.
25. DREWRY, D. J. **Glacial Geologic Processes**. 1ª ed. Edward Arnold, London, 1986.
26. EIDAM, E.F.; SUTHERLAND, D.A.; DUNCAN, D.; KIENHOLZ, C.; AMUNDSON, J.M.; MOTYKA, R.J. Morainal bank evolution and impact on terminus dynamics during a tidewater glacier stillstand. **Journal of Geophysical Research Earth Surface**. 2020. DOI: 10.1029/2019JF005359
27. EVANS, D.J.A. **Glacial landsystems**. 1ª ed. London: Hodder Arnold. 2003. 545 p.
28. EVANS, D.J.A.; BENN, D.I. Facies description and the logging of sedimentary exposures. In: EVANS, D.J.A.; BENN, D.I. 2004. **A Practical Guide to the Study of Glacial Sediments**. 1ª edition, Quaternary Research Association, London, 375 p. 2004.
29. EVANS, J.A.; PUDSEY, C.J.; Ó COFAIGH, C.; MORRIS, P.; DOMACK, E. Late Quaternary glacial history, flow dynamics and sedimentation along the eastern margin of the Antarctic Peninsula Ice Sheet. **Quaternary Science Reviews**, v. 24, p.741–74, 2005. DOI: 10.1016/j.quascirev.2004.10.007
30. FERRON, F.A.; SIMÕES, J.C.; AQUINO, F.E.; SETZER, A.W. Air temperature time series for King George Island, Antarctica. **Pesquisa Antártica Brasileira**, v. 4, p. 155-169, 2004. DOI: 10.31789/pab.v4n1.012
31. FOLK, R.L.; WARD, W.C. Petrol Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal Sedimentology**, v.3, n. 27, p.3-26, 1957.
32. HAMBREY, M. **Glacial Environments**. London: CRC Press. 1994. 304 p.
33. HANÁČEK, M.; NÝVLT, D.; FLAŠAR, J.; STACHE, V.; MIDA, P.; LEHEJČEK, J.; TÓTHOVÁ, G.; BŘEŽNÝ, M.; PROCHÁZKOVÁ, B.; UX, T.; KŘENOVSKÁ, I. New methods to reconstruct clast transport history in different glacial sedimentary environments: Case study for Old Red sandstone clasts from polythermal Hrbýebreen and Bertilbreen valley glaciers, Central Svalbard. **Czech Polar Reports**, v. 3, n.2, p. 107-12, 2013. DOI: 10.5817/CPR2013-2-13
34. HOEY, T.B. 2004. The size of sedimentary particles In: Evans, D.J. & Benn, D.I. 2004. **A Practical Guide to the Study of Glacial Sediments**. 1ª edition, Quaternary Research Association, London, 375 p.
35. HOCK, R.; HUSS, M. Glaciers and climate change. **Climate Change (Third Edition)**, p. 157-176, 2021. DOI: 10.1016/B978-0-12-821575-3.00009-8
36. HOWAT, I. et al. 2022. The Reference Elevation Model of Antarctica – Strips, Version 4.1. Disponível em: <https://doi.org/10.7910/DVN/X7NDNY>, Harvard Dataverse, V1. Acesso em: 20 de abril de 2024.
37. HUBBARD, B.; GLASSER, N. **Field Techniques in Glaciology and Glacial Geomorphology**. England: John Wiley & Sons Ltd, 412p. 2005.
38. KEJNA, M.; ARAZNY, A.; SOBOTA, I. Climatic change on King George Island in the years 1948 – 2011. **Polish Polar Research**, v. 34, n. 2, p. 213-235, 2013. DOI: 10.2478/popore-2013-0004
39. KNIGHT, P.; PATTERSON, C.J.; WALLER, R.I.; JONES, A.P.; ROBINSON, Z.P. Preservation of basal-ice sediment texture in ice-sheet moraines. **Quaternary Science Review**, v.19, p. 1255-1258, 2000. DOI: 10.1016/S0277-3791(00)00091-3
40. KRAUS A.S.; POBLETE, B.F.; ARRIAGADA C. Dike systems and their volcanic host rocks on King George Island, Antarctica: Implications on the geodynamic history based on a multidisciplinary approach. **Tectonophysics**, v. 495, p. 269–297, 2010. DOI: 10.1016/j.tecto.2010.09.035
41. KRECZMER, K.; DĄBSKI, M.; ZMARZ, A. Terrestrial Signature of a Recently-Tidewater Glacier and Adjacent Periglaciation, Windy Glacier (South Shetland Islands, Antarctic). **Frontiers in Earth Science**, v. 9, 2021. DOI: /10.3389/feart.2021.671985
42. KRUMBEIN, W.C.; PETTIJOHN, F.J. **Manual of Sedimentary Petrography**. D. Appleton-Century, New York, 1938, 549 p.
43. LORENZ, J.; ROSA, K.K.; PETSCH, C.; PERONDI, C.; IDALINO, F.; AUGER, J.; VIEIRA, R.; SIMÕES, J.C. Short-term glacier area changes, glacier geometry dependence, and regional climatic variations forcing, King George Island, Antarctica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. 2023. DOI: 10.1590/0001-3765202320211627

44. MAGRANI, F. **Caracterização sedimentar glaciomarinha da deglaciação da BA desde o Último Máximo Glacial, arquipélago das Shetlands Do Sul, Antártica**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Fluminense, 198 p. 2014.
45. MATSUOKA, K.; SKOGLUND, A.; ROTH G. Quantarctica [Dataset]. Norwegian Polar Institute. 2018.
46. MICALLEF, A.; KRASSEL, S.; SAVINI, A. (Eds.). **Submarine geomorphology**. Springer Geology. 2018. 552p.
47. NAPIERALSKI, J.; HARBOR, J.; LI, Y. Glacial geomorphology and geographic information systems. **Earth Science Review**, v. 85, n. 1-2, 2007. DOI: 10.1016/j.earscirev.2007.06.003.
48. NITSCHKE, F.O.; GOHL, K.; LARTER, R.; HILLENBRAND, C.D.; KUHN, G.; SMITH, J.; JACOBS, S.; ANDERSON, J.; JAKOBSSON, M. Paleo ice flow and subglacial meltwater dynamics in Pine Island Bay, West Antarctica. **The Cryosphere**, v. 6, p. 4267–4304, 2012. DOI: 10.5194/tc-7-249-2013
49. OLIVEIRA, M.G. **Evolução de lagos marginais ao gelo em resposta à retração de geleiras nas ilhas Nelson e Rei George, Antártica Marítima**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 105p. 2020.
50. OTTESEN, D.; DOWDESWELL, J.A. An inter-ice stream glaciated margin: submarine landforms and a geomorphic model based on marine-geophysical data from Svalbard. **GSA Bulletin**, v. 121, n. 11-12, p.1647–1665, 2009. DOI: 10.1130/B26467.1
51. PATTERSON, C.J.; HOOKE, R.B. Physical environment of drumlin formation. **Journal of Glaciology**, v. 41, n. 137. 30–8. 1996. DOI: 10.3189/S0022143000017731
52. PERONDI, C.; ROSA, K.K.; VIEIRA, R. Caracterização geomorfológica das áreas livres de gelo na margem leste do campo de gelo Warszawa, ilha Rei George, Antártica Marítima. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 2, 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i2.1433
53. PERONDI, C.; ROSA, K.K.; MAGRANI, F.; PETSCH, C.; VIEIRA, R.; AYRES NETO, A.; SIMÕES, J.C. Paleoglaciological reconstruction and geomorphological mapping of Dobrowolski Glacier, King George Island, Antarctica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2023. DOI: 10.20502/rbg.v24i3.2425
54. PETSCH, C.; PERONDI, C.; ROSA, K.K.; VELHO, L.F.; TRENTIN, R.; VIEIRA, R. Identificação de geoformas glaciais por análise visual e por análise de relevo: um comparativo entre sensores orbitais e VANT. **14°SINAGEO**, Corumbá-MS. 2023.
55. POST, A.; MOTYKA, R.J. Taku and LeConte glaciers, Alaska: Calving-speed control of late-Holocene asynchronous advances and retreats. **Physical Geography**, v. 16 n. 1, p. 59–82, 1995. DOI: 10.1080/02723646.1995.10642543
56. ROSA, K.K.; VIEIRA, R.; FERNANDEZ, G.; SIMÕES, F.; SIMÕES, J.C. Glacial landforms and glaciological processes of the temperate Wanda Glacier, South Shetlands. **Investigaciones Geográficas**, v. 43, p. 3-16, 2011.
57. ROSA, K.K.; VIEIRA, R.; MENDES, J.R.C.; SOUZA, J.R.; SIMÕES, J.C. Compilation of geomorphological map for reconstructing the deglaciation of ice-free areas in the Martel inlet, King George Island, Antarctic. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, p. 181-187, 2013. DOI: 10.20502/rbg.v14i2.324
58. ROSA, K.K.; PERONDI, C.; VEETIL, B.K.; AUGER, J.D.; SIMÕES, J.C. Contrasting responses of land-terminating glaciers to recent climate variations in King George Island, Antarctica. **Antarctic Science**, v. 32, n. 5, p. 398–407, 2020. DOI: 10.1017/S0954102020000279
59. RÜCKAMP, M.; BRAUN, M.; SUCKRO, S.; BLINDOW, N. Observed glacial changes on the King George Island ice cap, Antarctica, in the last decade. **Global and Planetary Change**, v. 79, p. 99–109, 2011. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2011.06.009
60. SETZER, A.W.O.; FRANCELINO, M.R.; SCHAEFER, C.E.G.R.; COSTA, L.V.; BREMER, U.F. Regime climático na baía do Almirantado: relações com o ecossistema terrestre. In: SCHAEFER, C. (Ed.). **Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima**. Minas Gerais: Viçosa, p. 1–13, 2004.
61. SHAHGEDANOVA, M. Climate change and melting glaciers. **The Impacts of Climate Change**, p. 53-84, 2021. DOI: 10.1016/B978-0-12-822373-4.00007-0
62. SIEGERT, M.; ATKINSON, A.; BANWELL, A.; BRANDON, M.; COVEY, P.; DAVIES, B.; DOWNIE, R.; EDWARDS, T.; HUBBARD, B.; MARSHALL, G.; ROJELL, J.; RUMBLE, J.; STROEVE, J.; VAUGHAN, D. The Antarctic Peninsula Under a 1.5°C Global Warming Scenario. **Frontiers in Environmental Science**, v. 28, 2019. DOI: 10.3389/fenvs.2019.00102

63. SILVA, A.B.; ARIGONY-NETO, J.; BICCA, C.E. Caracterização geomorfológica das geleiras da Península Antártica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i3.1547
64. STEARNS, L.A.; HAMILTON, G.S.; VAN DER VEEN, C.J.; FINNEGAN, D.C.; O'NEEL, S.; SCHEICK, J. B.; LAWSON, D.E. Glaciological and marine geological controls on terminus dynamics of Hubbard Glacier, southeast Alaska. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 120, p. 1065–1081, 2015. DOI: 10.1002/2014JF003341
65. STREUFF, K.; FORWICK, M.; SZCZUCINSKI, W. ANDREASSEN, K.; Ó COFAIGH, C. Submarine landform assemblages and sedimentary processes related to glacier surging in Kongsfjorden, Svalbard. **ArKtos**, v. 1, n. 14, 2015. DOI: 10.1007/s41063-015-0003-y
66. SUGDEN, D. E.; JOHN B. S. **Glaciers and Landscape: A Geomorphological Approach**. London; New York: Editora Edward Arnold, 2ª ed. 1984. 376 p.
67. SUGDEN, D.E.; BALCO, G.; COWDERY, S. G.; STONE, J. O.; SASS, L. C. Selective glacial erosion and weathering zones in the coastal mountains of Marie Byrd Land, Antarctica. **Geomorphology**, 67, 317–34, 2005. DOI: 10.1016/j.geomorph.2004.10.007
68. SUGDEN, D.E.; BENTLEY, M.J.; Ó COFAIGH, O. Geological and geomorphological insights into Antarctic ice sheet evolution. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 364, p.1607–1625, 2006. DOI: 10.1098/rsta.2006.1791
69. TanDEM-X. Digital Elevation Model (DEM). Global, 12m. (n.d.). Disponível em: <http://data.europa.eu/88u/dataset/5eecdf4c-de57-4624-99e9-60086b032aea> Acesso em 27 de abril de 2025.
70. TOKARSKI, A.K. Structural events in the South Shetland Islands (Antarctica). III. Barton Horst, King George Island. **Studia Geologica Polonica**, v. 90, p. 7-38. 1987.
71. TRUSEL, L.D.; POWELL, R.D.; CUMPSTON, R.M.; BRIGHAM-GRETTE, J. Modern Glacimarine Processes and Potential Future Behaviour of Kronebreen and Kongsvegen Polythermal Tidewater Glaciers, Kongsfjorden, Svalbard. In: HOWE, J.A.; AUSTIN, W.E.N.; FORWICK, M.; PAETZEL, M. (Eds.). **Fjord Systems and Archives**. Geological Society Special Publications. n. 344. p. 89–102. London. 2010.
72. TURNER, J.; LU, H.; WHITE, I.; KING, J.C.; PHILLIPS, T.; HOSKING, J.S.; BRACEGIRDLE, T.J.; MARSHALL, G.J.; MULVANEY, R.; DEB, P. Absence of 21st century warming on Antarctic Peninsula consistent with natural variability. **Nature**, v. 535, p. 411–415, 2016. DOI: 10.1038/nature18645
73. WENTWORTH, C. K. A 1922. Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments, **The Journal of Geology**, v. 30, n. 5, p. 377-392.
74. WÖLFL, A.C.; WITTENBERG, N.; FELDENS, P.; HASS, H.C.; BETZLER, C.; KUHN, G. Submarine landforms related to glacier retreat in a shallow Antarctic fjord. **Antarctic Science**, v. 28, p. 475–486, 2016. DOI: 10.1017/S0954102016000262



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.