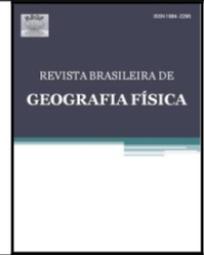




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Retrabalhamento de Sedimentos em Bacias Glaciais da Península Fildes, Antártica

Carina Petsch¹, Rafaela Mattos Costa¹, Kátia Kellem da Rosa¹, Rosemary Vieira², Jefferson Cardia Simões¹

¹ Centro Polar e Climático (CPC) - Av. Bento Gonçalves, 9500. Agronomia, Prédio 43136, salas 208 e 210, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Autor correspondente: carinapetsch@gmail.com; raffaellamattos@hotmail.com; katiakellem@gmail.com; jefferson.simoies@ufrgs.br

² Laboratório de Processos Sedimentares e Ambientais (LAPSA) - Universidade Federal Fluminense (UFF) - Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/n, Campus da Praia Vermelha - Boa Viagem - Niterói/RJ.

rosemaryvieira@id.uff.br

Artigo recebido em 01/08/2018 e aceito em 29/11/2018

RESUMO

A área exposta à frente de geleiras em retração sofre processos de retrabalhamento pela ação do vento, variação da temperatura e água líquida. Diante disso, o presente trabalho investigou o retrabalhamento de sedimentos em bacias de drenagem proglaciais e periglaciais e possíveis mudanças no relevo na península Fildes, ilha Rei George, Antártica. Foram analisadas a granulometria e morfoscopia de 11 amostras sedimentares coletadas em diferentes transectos em área proglacial da geleira e em duas áreas periglaciais. A granulometria foi realizada para determinação da classe textural do material e a análise morfoscópica para obtenção do índice de arredondamento e esfericidade. As amostras proximais à geleira mostram pouco retrabalhamento, predominando cascalhos, sedimentos angulosos e sem estrias. Os lagos e canais glaciofluviais nessa bacia de drenagem atuam na seleção do material encontrado a jusante, predominando areia, material subangular arredondado e esfericidade média. Na área periglacial, na bacia do rio do Vento, predomina cascalho e material sedimentar anguloso nos setores a montante, evidenciando intemperismo físico; a jusante predomina areia e material arredondado e com alta esfericidade. Na bacia do rio Grande evidencia-se a presença de areia, material menos anguloso e mais esférico. Diante disso, se a geleira Collins continuar retraindo como nas últimas décadas, poderá haver maior retrabalhamento dos sedimentos pelo fluxo de água na zona proglacial. Para as duas bacias periglaciais, um aumento de temperatura do ar pode ocasionar maior quantidade de água de fusão da neve. Podem ocorrer mudanças ambientais como rebaixamento do relevo pela erosão e preenchimento das bacias por sedimentos provenientes das paredes das falésias e também transportados por canais de fusão da neve.

Palavras-chave: glaciologia; bacias glaciais; mudanças ambientais.

Reworking of Sediments in Glacial Basins of The Fildes Peninsula, Antarctica

ABSTRACT

The exposed area ahead of shrinking glaciers undergoes reworking processes by wind, temperature variation and liquid water action. Therefore, the present work investigated the reworking of sediments in proglacial and periglacial drainage basins and possible changes in the relief on the peninsula Fildes, King George Island, Antarctica. The granulometry and morphoscopy of 11 sedimentary samples collected in different transects, in the proglacial area and in two periglacial areas, were analyzed. The granulometry was performed for the determination of the material textural and a morphoscopic analysis to obtain the roundness and sphericity index. The sediments proximal to the glacier show little reworking, predominating gravels, angular sediments and without striae. The lakes and glaciofluvial channels in this drainage basin act in the selection of the material found downstream, predominating sand, rounded subangular material and medium sphericity. In the periglacial area, in the Rio do Vento basin, gravel and angular sedimentary material predominate in upstream sectors, evidencing physical weathering; downstream sand and rounded material with high sphericity predominance. In the Rio Grande basin there is evidence of sand, less angular and more spherical material. In view of this, if the Collins glacier continues to retract as in the last decades, there may be greater reworking of sediments by the flow of water in the proglacial zone. For the two periglacial basins, an increase in the air temperature can cause a greater

amount of snow melting water. There may be environmental changes such as lowering the relief by erosion and filling the basins with sediments from the walls of the cliffs and also transported by snow melting channels.

Keywords: glaciology; glacial basins; environmental changes.

Introdução

Conforme uma geleira sofre processo de retração da sua frente, se iniciam processos de retrabalhamento pela ação do vento, fluxos gravitacionais, fluvial, precipitação líquida e consequente intemperismo químico e físico dos depósitos recentemente expostos (Mercier, 2008; Mercier e Étienne, 2008). Com a retração de geleiras na Península Antártica e na região marítima, torna-se fundamental analisar a reorganização hidrológica e sedimentar nas áreas recentemente expostas (Rosa, 2012). Segundo Bockheim e Hall (2002), as áreas livres de gelo representam menos de 1% de todo continente antártico e desta proporção, 14% estão na Península Antártica e em suas ilhas. A península Fildes representa a maior área livre de gelo da Antártica Marítima.

A caracterização sedimentar e geomorfológica glacial pode ser usada para inferir as condições termo-basais e interpretar a dinâmica de avanço e recuo de geleiras (Bennett e Glasser, 1996; Smith et al., 2006) e a morfologia dos grãos sedimentares em feições proglaciais e periglaciais revelam condições de transporte e deposição e que podem estar ligadas a mudanças climáticas (Hughes e Woodward, 2009). Além disso, a análise da atividade sedimentar pós e durante a retração da geleira é fundamental para modelar o desenvolvimento de processos superficiais da paisagem proglacial (Carrivick et al., 2013).

A retração da geleira pode aumentar o nível de conexão entre canais glaciofluviais e áreas fontes de sedimentos na zona proglacial, adicionando material no sistema, além do que, os canais proglaciais terão acesso a sedimentos transportados e mantidos abaixo da geleira (Ballantyne, 2002; Lane et al., 2016). Além disso, o recuo das geleiras pode levar à queda das paredes laterais do vale (Porter et al., 2010), ou queda de blocos de áreas rochosas que ficaram expostas a intemperismo, após a retração. Estes processos são respostas do sistema a possíveis mudanças climáticas. Por fim, pode ocorrer diminuição da quantidade de sedimentos no sistema proglacial pelo transporte na água de fusão glacial e acumulação em áreas adjacentes (Heckmann et al., 2012), principalmente quando há um aumento da água de derretimento da geleira.

A morfologia de um clasto reflete a forma original do fragmento ao ser liberado na rocha de origem, a sua estrutura e durabilidade, a energia de transporte e deposição, a distância e o tempo de transporte (Benn e Ballantyne, 1994; Hallet et al., 1996). Sendo assim, a análise sedimentar possibilita a identificação dos ambientes sedimentares, bem como a reconstrução da história de transporte, erosão e deposição dos depósitos glaciais (Benn e Ballantyne, 1994). A distribuição granulométrica é também fortemente influenciada pela litologia original, bem como pela história dos sedimentos, de sucessivas quebras e retrabalhamento. Ressalta-se que processos pós-deposicionais também podem modificar a distribuição original do tamanho dos grãos de um depósito (Lewis e Mcconchie, 1994), como é o caso no ambiente periglacial.

Contudo, dificilmente pode-se saber diretamente qual a fonte dos sedimentos, já que o material fonte pode produzir grãos de tamanhos variados dependendo da litologia, e também podem ter passado por fases pretéritas de erosão, transporte e deposição (Hoey et al., 2004). Parte deste material erodido pela geleira, como grandes clastos erráticos, pode ser transportado de áreas distantes e geologicamente diferentes (Le Heron et al., 2005; Evans et al., 2006). O transporte de sedimentos nos sistemas periglaciais fluviais ocorrem normalmente pelo derretimento da neve ou por precipitação líquida. Em locais com poucos eventos de precipitação, a mobilização dos sedimentos ocorre somente nos dias com derretimento de neve, embora os movimentos de gelifluxão e queda de blocos também sejam fundamentais nesse processo (Clark, 1988; Beylich e Gintz, 2004; Beylich et al., 2016).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar o retrabalhamento glaciofluvial em amostras sedimentares coletadas em ambientes proglaciais (próximos a geleira Collins) e periglaciais (distantes da geleira e com predominância de processos periglaciais) na península Fildes, Antártica, e identificar possíveis mudanças ambientais nesses sistemas.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A península Fildes (Figura 1), parte da ilha Rei George, está entre os paralelos 62°08' e 62°14'

Sul e meridianos 59°02' e 58°51' Oeste, e foi uma das primeiras áreas a sofrer exposição nas Shetlands do Sul, depois do Último Máximo Glacial. John e Sudgen (1972) e Sudgen e Clapperton (1986) destacam que a deglaciação começou antes de 10 mil anos atrás nesse arquipélago. No Holoceno Tardio, à frente da geleira se manteve praticamente estável, com recuo de algumas dezenas de metros (Hall et al., 2007).

As áreas livres de gelo são compostas por terrenos jovens, provenientes de rochas vulcânicas e drenadas por canais intermitentes (Bremer, 2008). Os processos geomorfológicos que ocorrem atualmente na Península Fildes são nivação, solifluxão, ablação e erosão e crioturbação (Simas et al., 2008). De acordo com Michel et al. (2014a), os solos da Península Fildes são bem desenvolvidos para padrões antárticos, sendo os criossolos dominantes e relacionados a crioturbação e processos da camada ativa. Os processos periglaciais são dominantes em altitudes acima de 50 m onde são comuns solos em padrão.

Lopez Martinez et al. (2012) identificaram as seguintes formas na península Fildes: plataformas marinhas soerguidas, vales planos, solos com padrão e lóbulos de gelifluxão. Essa península possui um número significativo de praias elevadas e bacias isoladas em altitudes inferiores a 20 m, concentrando lagos e alagados do período holocênico (Watcham et al., 2011). Todas as praias holocênicas, situadas entre a linha de costa atual e 20 m de altitude, foram formadas durante os últimos 6000 anos (Barsch e Mausbacher, 1986).

A península é limitada a nordeste por um pequeno domo de gelo (localmente chamado domo ou geleira Collins) que atinge 300 m de altitude. A retração durante o Holoceno dessa massa de gelo deixou diversas feições geomorfológicas. Na porção norte predominam formas proglaciais associadas à atividade da geleira e formas paraglaciais que já possuem interferência de outros agentes como vento, água de fusão de neve e precipitação líquida. Na porção central, em direção a sul, os ambientes que predominam são periglaciais com processos de erosão não-glacial, movimento de massa nas vertentes, vento, água de fusão da neve e *permafrost*, e também de precipitação líquida (Vieira et al., 2015).

O trabalho de campo desta pesquisa foi realizado em três bacias glaciais na península Fildes (Figura 1). A do rio Grande possui aproximadamente 3,2 km², com orientação predominante para oeste, predomina declividade menor que 6% com algumas partes com mais de 20%, denotando um relevo em patamares, apresentando altitudes entre 0 e 70 m. A bacia do rio do Vento tem área de 3,60 km² e vertentes voltadas para sul e leste, predominantemente. Predomina declividade abaixo de 6%, e áreas com declividade maior que 20% na parte onde o canal principal é encaixado em uma fratura geológica e altitude entre 70 e 120 m. A bacia glaciofluvial localizada na zona proglacial da geleira Collins possui aproximadamente 3,9 km², e a orientação das vertentes predominam em sul e leste. É uma área plana com declividade entre 0–10% e altitude entre 50 e 70 m.

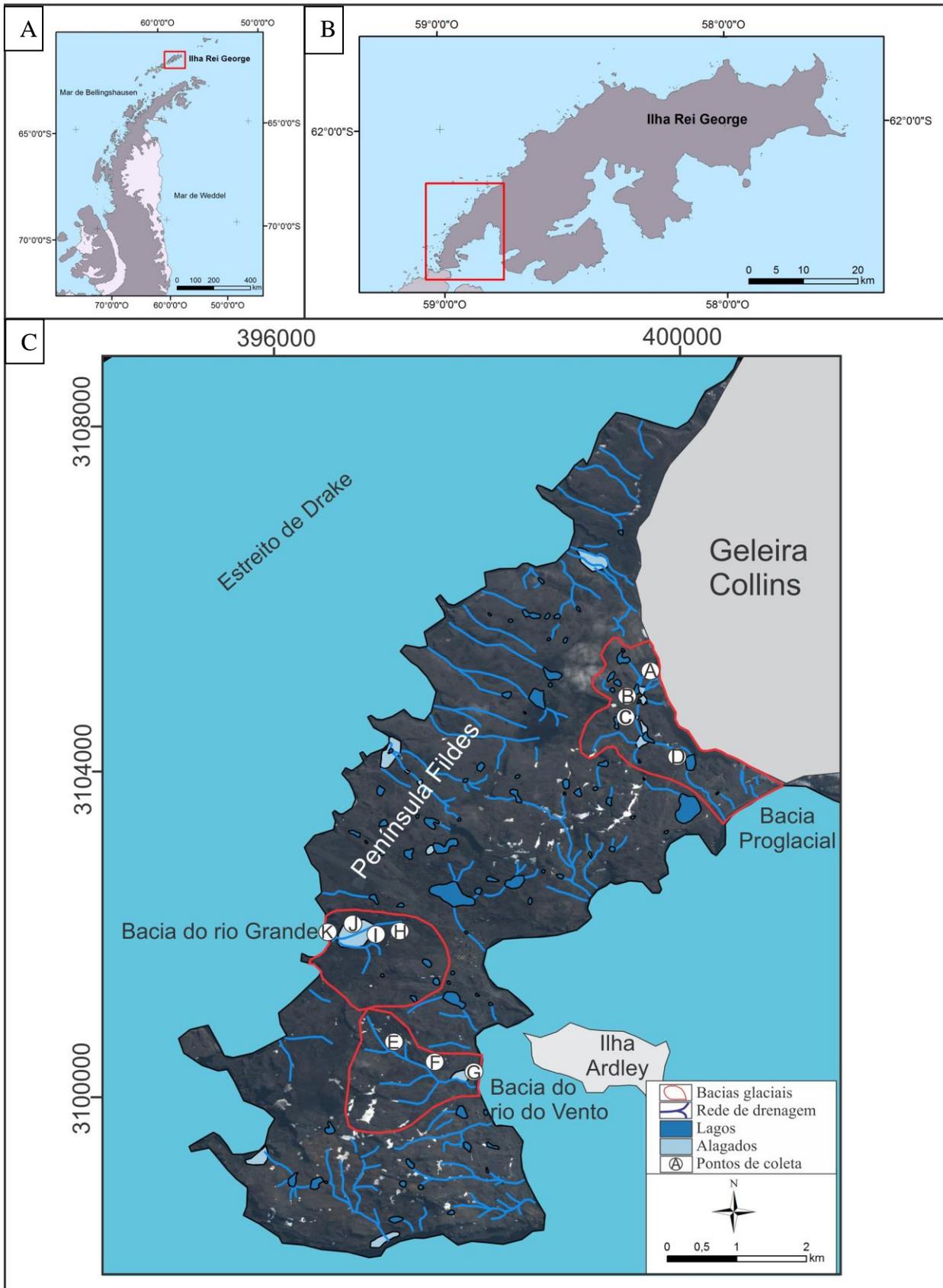


Figura 1 - (A) Localização da área de estudo na Península Antártica. Quadro em vermelho indica a ilha Rei George; (B) Localização da área de estudo na ilha Rei George. Quadro em vermelho indica a Península Fildes; (C) bacias glaciofluviais dos rios do Vento e Grande e bacia proglacial na península Fildes à frente da geleira Collins. Os círculos em branco representam a localização das amostras sedimentares.

As coletas das amostras foram realizadas durante expedições nos verões de 2015/16 e 2016/17, na península Fildes. As 11 amostras foram coletadas em transectos de montante a jusante (representadas por letras na Figura 1) em depósitos formados pelos canais glaciofluviais, caracterizando o alto, médio e baixo canal. O material sedimentar foi coletado com uma pá e acondicionado em sacos plásticos, contendo o código de cada amostra. Em cada local de coleta foram demarcados pontos de controle de GPS (elevação e coordenadas), fotografia com escala e observação do ambiente de entorno como orientação, tamanho do depósito e matriz. Foi realizada a análise dos sedimentos para determinar a distribuição granulométrica e as características morfoscópicas.

Análise granulométrica

O material foi secado, quarteado e submetido à separação dos finos e grossos através de uma peneira com malha 4 mm pelo processo seco. O material retido na peneira foi considerado “grosso” e o restante passado por um conjunto de peneiras com malha decrescente até o limite de 0,062 mm, para separação de acordo com classes texturais. Em seguida realizou-se a pesagem por classe.

Foram elaborados histogramas para representar a granulometria e verificar o comportamento da distribuição. Esses dados foram processados com métodos estatísticos, usando os softwares EXCEL, GRADISTAT e TRI-PLOT, obtendo-se assim a distribuição percentual das classes texturais dos sedimentos e a classe textural predominante, segundo a escala de Wentworth (1922).

Análise morfoscópica

A análise foi realizada em 100 grãos das três classes granulométricas de maior intervalo, sendo estas: maior que 4 mm (quando houve sedimentos com este tamanho); entre 2 e 4 mm; entre 1,4 e 2 mm; 1,4 e 1 mm (quando não há a classe “maior que 4 mm” na amostra). Essa divisão é necessária devido ao aumento das ações erosivas conforme a diminuição do tamanho do grão. Além disso, os grãos menores se apresentam mais fragmentados, sendo impossível realizar a medida dos eixos.

A forma do clasto foi definida pela dimensão relativa dos três eixos ortogonais, chamados *a* (maior), *b* (intermediário), e *c* (menor) (Hubbard e Glasser, 2005) e as medidas foram plotadas em gráficos de dispersão. O índice RA (porcentagem de clastos angulosos) e o índice C₄₀ (porcentagem de clastos com raio $c/a \leq 0.4$) também foram calculados. Para a análise morfoscópica das amostras previamente selecionadas, descritas no primeiro parágrafo do item, utilizou-se uma lupa binocular. Para a análise do grau de arredondamento (presença ou ausência de angularidades na superfície externa) utilizou-se tabela de comparação de Krumbein (1941). A textura superficial (ornamentação das faces dos grãos e presença ou ausência de brilho) das amostras foi determinada através da classificação de Bigarella (1946). Além disso, foi examinada a presença de estrias.

Este método permite distinguir os sedimentos transportados ativamente dos transportados passivamente na geleira, além de quantificá-los (Bennet et al., 1997), sendo assim, útil para discriminar subambientes glaciais (Benn e Ballantyne, 1994).

O fluxograma (Figura 2) resume a metodologia adotada para coleta e análise dos sedimentos.

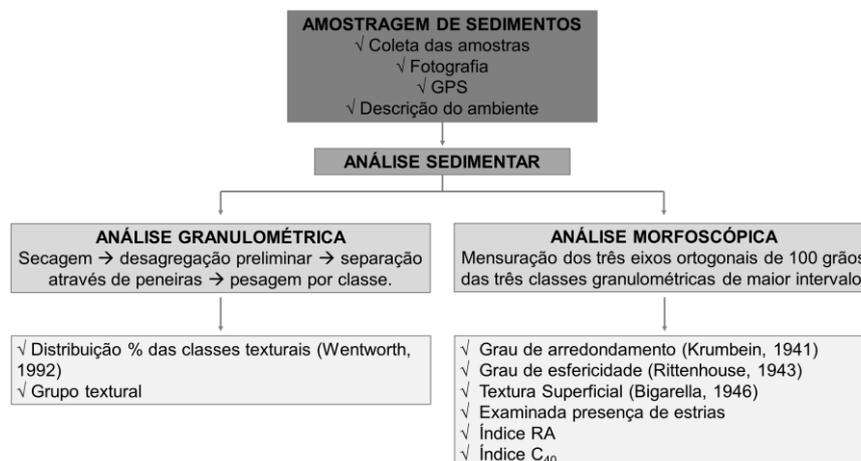


Figura 2 - Fluxograma resumido dos procedimentos metodológicos adotados nesta investigação.

Resultados e discussão

Para a formação da área da bacia do rio Grande, John (1972) sugere que houve uma corrente de gelo, chamada Fildes, que possuía direção noroeste-sudeste que cruzava a península Fildes e causou a erosão da baía Maxwell. Essa bacia localiza sob a formação rochosa grupo Península Fildes. O mesmo autor propõe ainda, que essa massa de gelo não tinha origem na porção emersa conhecida atualmente, pois nem a península de Fildes nem a península de Rip Point são suficientemente extensas ou altas para ter um domo de gelo ativo. Dessa forma é provável que tenha existido uma massa de gelo a noroeste da atual península Fildes e que originou a corrente de gelo que foi responsável pela erosão que deixou a depressão Marsh esculpida entre as duas mesetas (John, 1972). Zhu et al. (1996) sugerem que houve uma outra corrente de gelo, chamada Munao, que teria esculpido uma segunda depressão localizada mais ao sul da depressão Marsh, originando a bacia

do rio do Vento, sob rochas do grupo Fildes e Jurássico.

As rochas vulcânicas do grupo Jurássico (Figura 3) são compostas basicamente de lavas andesíticas e piroclásticas e duas subdivisões estratigráficas são reconhecidas: uma série inferior de andesitos dobrados separados por inconformidades e uma superior de fragmentos de rochas piritizadas, calcificadas e silidificadas suavemente dobrados (Birkenmajer, 1989; Barton, 1995). As rochas do grupo Península Fildes foram formadas entre o Paleoceno tardio (59 Ma) e o Eoceno Médio (43–42 Ma), estão localizadas na parte central e norte e são subdividas por inconformidades em pelo menos quatro subdivisões estratigráficas (Figura 3): andesitos que são predominantes, sedimentos de rochas, aglomerados e andesitos intercalados por tufos (Birkenmajer, 1989; Barton, 1995). Há um horizonte de sedimentos terrestres fossilíferos distintos aproximadamente no meio da sucessão (Birkenmajer, 1989).

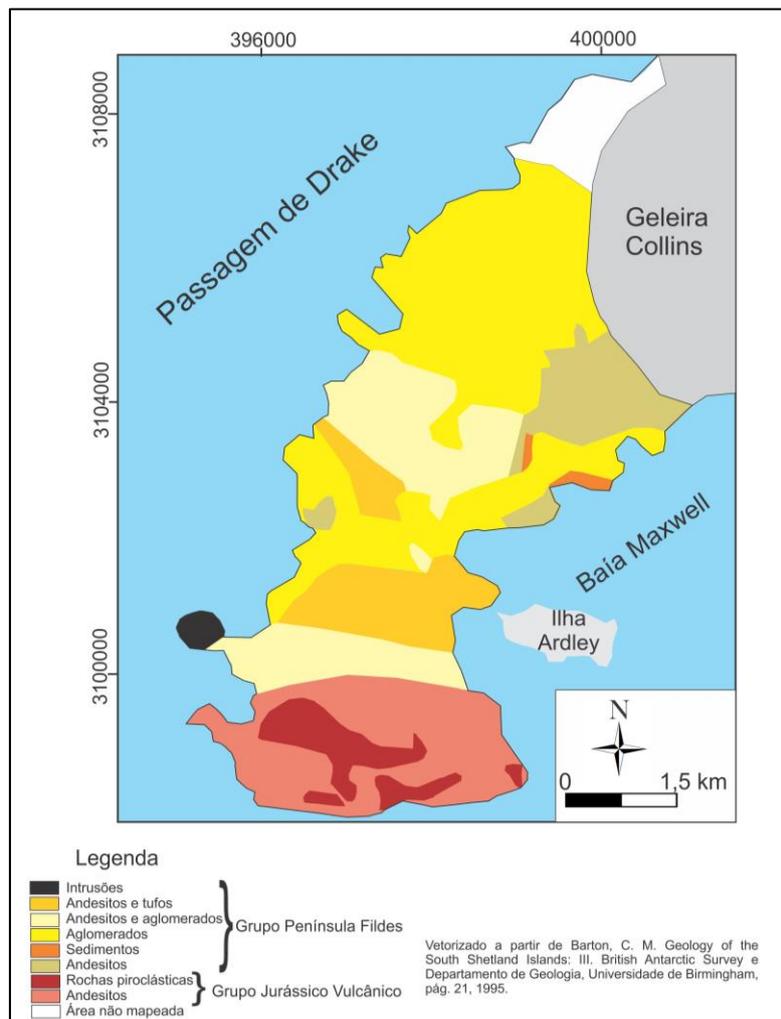


Figura 3: Geologia da península Fildes mostrando dois grupos, sendo o Jurássico Vulcânico localizado no sul e Península Fildes na porção central e norte.

A bacia do rio Grande (Figura 1) localiza-se na porção central da península Fildes, voltada para o estreito de Drake, com deposição fluvial sedimentar que permite o desenvolvimento de briófitas. O vale em formato de “U” pode denotar que tenha sido esculpido por uma geleira que drenava no sentido Leste-Oeste, posterior ao Último Máximo Glacial, após a passagem da corrente de gelo acima descrita, e que apresentava término no mar, ancorada em dois promontórios rochosos. Foram coletadas 4 amostras nessa bacia, representando os principais setores de seu principal canal glaciofluvial: H e I como áreas de alto e médio canal; J como uma área plana de baixo canal; K como área de *outwash* e exutório do canal para o mar (Figura 4).

A bacia do rio do Vento apresenta uma porção do canal glaciofluvial principal encaixada (Figura 4) numa falha geológica estrutural do grupo Península Fildes, no sentido Leste-Oeste. Possui formato em “U” na porção a montante e

escoa numa plataforma marinha plana, formando uma grande área de deposição (Figura 4). As amostras foram coletadas em três pontos específicos: E representando o alto canal; F na área em que o canal se encaixa na fratura geológica; e G na área de deposição e exutório do canal (Figura 4).

A área proglacial (Figura 4) apresenta um sistema de lagos interconectados com origem em um canal de derretimento proglacial, e seguido por uma sequência de 3 lagos. Apresenta também algumas áreas de alagados que geralmente possuem campos de musgos, lâmina de água de no máximo 20 cm de altura e sedimentos arenosos e argilosos. As duas primeiras coletas foram realizadas no canal de despejo de material da geleira (amostra A e B), a terceira coleta logo após o primeiro lago do sistema (C) e o último ponto, cerca de 700 m a jusante, numa área com influência do material que se movimenta da moraina de empurrão em direção ao canal glaciofluvial (D).

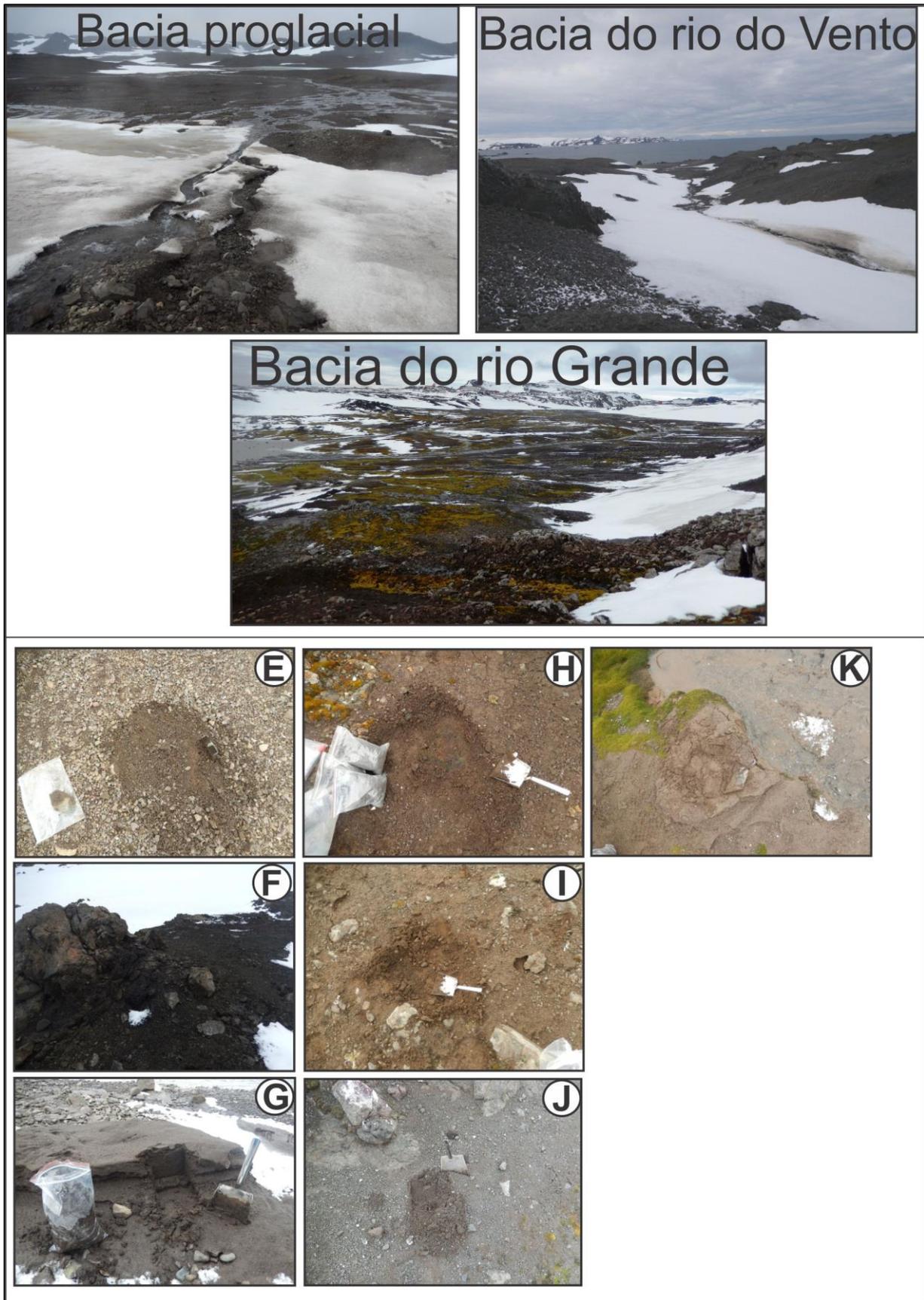


Figura 4 – Fotografias mostrando uma visão panorâmica das três bacias glaciais analisadas na pesquisa; cada letra representa o ambiente em que as amostras foram coletadas (não há fotografias das amostras proglaciais).

Análise granulométrica

Área proglacial

A amostra A (Figura 5) do material que se encontra na margem da geleira, em um canal de derretimento, apresenta material bimodal, pobremente selecionado e predominância de cascalho (63%) e de areia grossa (35%). Material grosso com menos de 1% de material fino indica pouca quebra dos grãos para partículas do tamanho areia fina, silte e argila. Isso pode estar ligado a resistência da rocha e ao pouco tempo de transporte desse material, sendo arrancado numa porção próxima da área de coleta e sendo transportado supraglacialmente. De acordo com Menzies (1995) os sedimentos carregados pela água de derretimento da geleira são rapidamente modificados e possuem alta variação granulométrica, o que reflete a intensidade da abrasão e quebra de acordo com a resistência oferecida pelo tamanho do grão e litologia.

A amostra B, localizada cerca de 30 m abaixo, apresenta predominância de areia fina com 52% e a classe de cascalho possui 47%, característica trimodal e pobremente selecionada. Há tendência de diminuição do tamanho do material depositado pela seleção glaciofluvial pela presença de areia fina. Muitos estudos demonstram que o tamanho das partículas diminui na parte mais distante da geleira, devido à diminuição da taxa de declínio e por processos de deposição seletiva (Bradley et al., 1972). A trimodalidade da amostra denota alta variação granulométrica, que ocorre por ser uma área plana de *outwash* com sedimentos provenientes da geleira e de áreas adjacentes.

A amostra C indica material com predominância em areia fina (85%), 7% de cascalho e aproximadamente 7% de argila e silte. Possui característica bimodal e pobremente selecionada. Este ponto de coleta está localizado em um exutório de um lago proglacial, onde há uma deposição do material grosso e somente a areia fina, argila e silte estão sendo transportados pelo canal. Conforme Carriwick e Tweed (2013), canais proglaciais interrompem e reduzem a velocidade do fluxo de água de derretimento entre a geleira e sua zona proglacial, causando sedimentação.

O último ponto de coleta da zona proglacial caracteriza-se por apresentar sedimentos transportados por canal glaciofluvial e material proveniente da moraina de empurrão localizada na área. A amostra apresenta predominância de areia com 33% e cascalho com 66%, o material é pobremente selecionado e a distribuição granulométrica é polimodal, devido sua origem variada.

Uhlmann et al. (2013) ressaltam que com o aumento de precipitação líquida e também a retração da geleira, gerando maior aporte de água de degelo, tende a ocorrer o aumento da quantidade de sedimentos que chegam nas zonas proglaciais. Para a zona proglacial também se espera aumento de intemperismo químico, devido à exposição da superfície pela retração de geleiras (Hallet et al., 2002) o que acarretará no maior retrabalhamento dos sedimentos nessa área. Também pode haver um aumento no aporte de água de derretimento e, conseqüentemente, de sedimentos formando novas feições nessa área, como morainas e *flutings*, além de contribuir para a deposição em lagos e alagados.

Área sujeita a processos periglaciais

Bacia do rio do Vento

Segundo Michel et al. (2014), a bacia do riacho do Vento é composta na porção próximo à baía Maxwell de praias holocênicas soerguidas, onde há formação de um delta com material acumulado e de formas associadas a gelifluxão e crioturbação, como solos em padrão nas altas vertentes dessa bacia.

A amostra E (Figura 5), mais a montante do canal do rio do Vento, possui característica trimodal, com uma porcentagem de 64% de cascalho, 35% de areia e 1% de argila e silte, na alta vertente com altitude de 164 metros. A amostra F, também com característica trimodal, 71% de cascalho e 27% de areia e 2% de argila e silte na altitude de 25 metros. A amostra G, na altitude de 6 metros, é unimodal, pobremente selecionada com 99% de areia e 1% de argila e silte. Essa bacia, com características de retrabalhamento pela ação da água de degelo, apresenta na porção final do canal principal uma área de deposição moderadamente selecionada composta basicamente por areia. Por se tratar de uma área plana, os canais glaciofluviais não tiveram capacidade de transporte de material mais grosso. A amostra F em relação à amostra E possui aumento da porção de cascalho, evidenciando quedas de blocos em áreas rochosas íngremes suscetíveis a movimentos de massa e fluxo de detritos dos materiais intemperizados. Como salienta Beylich e Sandberg (2004) a quantidade de sedimentos no sistema depende não só do transporte glaciofluvial, mas também da atividade de deslizamento das encostas.

Os setores de acumulação de neve que perduram por mais tempo no verão estão inseridos junto às vertentes orientadas para o sul na península, no caso desta bacia onde justamente o

intemperismo físico é mais evidenciado nas formas de relevo, e pela presença de material do tamanho “matacão”.

Bacia do rio Grande

A bacia do rio Grande é composta por formas associadas à gelifluxão e crioturbação em altas vertentes, e na área próxima ao estreito de Drake tem-se plataformas marinhas e praias holocênicas soerguidas (Michel et al., 2014a). Na porção do alto canal, na altitude de 70 metros, foi coletada a amostra H, que possui características bimodal e pobremente selecionada, indicando que o material provém de outras áreas, e pode ter se deslocado por queda e não transportado glaciofluvialmente. Dessa forma, a porção de areia e cascalho predomina com aproximadamente 57% e 40% da amostra (Figura 5), respectivamente. A amostra I localiza-se mais a jusante do rio, na altitude de 50 m, e apresenta-se como unimodal, pobremente selecionada, com predominância de areia (80%) e cascalho com 18%. A amostra J, já se localiza no baixo curso, na plataforma marinha, mantém as características da amostra anterior, com

87% de areia e 12% de cascalho, e está na cota de 20 m de altitude. A amostra K, próxima do canal de escoamento para o mar, é pobremente selecionada e unimodal. O tamanho do material predomina em arenoso (97%), e 3% de silte/argila a 5 metros de altitude.

Dessa forma, observa-se que há predominância da fração areia em todas as amostras do canal, mostrando que há alteração *in situ*, o que pode estar ligado ao intemperismo químico e quebra do material pelo transporte glaciofluvial. As condições para o intemperismo químico nessa área também se justificam pelo maior aporte de umidade que provém do estreito de Drake e a presença de animais. Colônias abandonadas e ativas de aves e outros animais ocorrem na costa da Península promovendo transferência de nutrientes do mar para as praias, aumentando o crescimento da vegetação (Michel et al., 2014a). As direções do vento mais frequentes são noroeste e oeste, principalmente em fevereiro, atingindo altas velocidades e são relativamente quentes. No verão trazem precipitação, umidade relativa e nuvens (Rakusa-Suszczewski et al., 1993).

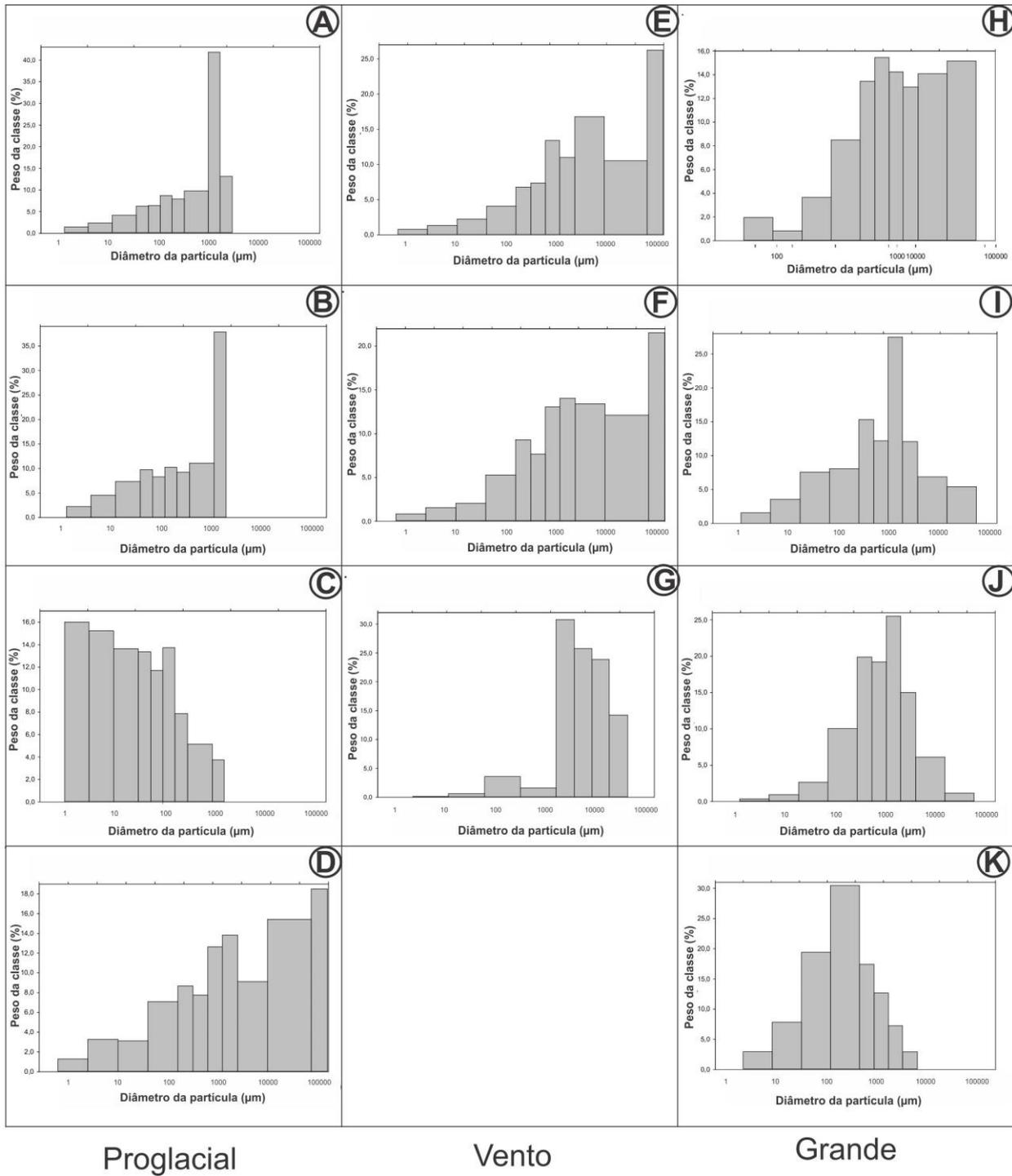


Figura 5: Resultados das análises granulométricas. As amostras A, B e C indicam aumento dos grãos mais finos e na amostra D se tem aumento do cascalho devido à movimentação de material da moraina de avanço para o canal glaciofluvial. Para a bacia do riacho do Vento as amostras E e F indicam predominância de cascalho na montante e no médio canal, e na amostra G prevalência de areia. Para a bacia do riacho Grande as amostras H e I já demonstram a predominância da fração areia que se mantém para as amostras na área de exutório (J e K).

Morfologia dos clastos

Zona proglacial

A amostra A é formada por partículas predominantemente subangulares a angulares e a

esfericidade predomina em média para baixa e a textura é do tipo sacaróide fosca sem estrias. O índice RA é de 45 e C_{40} é de 50% (Figura 6). A ausência de estrias indica transporte supraglacial, o que é corroborado pela forma angular e baixa esfericidade. Provavelmente, o material foi

arrancado do substrato, pela geleira, há alguns metros acima do local de coleta. O material transportado pela geleira geralmente possui clastos angulosos de tamanhos variados, quando transportados supra ou englacialmente. Já o material transportado na base pode se apresentar polido, arredondado e esculpido, ou mesmo compactados pela pressão da geleira. Geleiras que avançam e retraem também podem deformar esse material depositado na parte frontal das mesmas (Evans et al., 2006).

A amostra B possui arredondamento predominante em sub angular, índice RA de 20, o C_{40} é de 18% e a esfericidade é média. Quanto à textura, o material é do tipo sacaróide fosco e sem estrias. A esfericidade da amostra C é predominante boa, o arredondamento em subangular a subarredondado, o C_{40} é de 10% e o índice RA é de 12. A textura do material também se enquadra em sacaróide fosca, sem estrias. Comparando a amostra A em relação a C, verifica-se um índice RA menor e maior esfericidade nos grãos, podendo inferir-se que o transporte glaciofluvial por maior distância, contribuiu para quebra do material e desgaste das extremidades.

A amostra D apresenta no material acima de 4 mm, textura sacaróide, polido, arredondado e esfericidade média, com estrias presentes. Material abaixo de 4 mm apresenta predominância de esfericidade média e arredondamento subangular. O índice RA é de 30, a textura sacaróide fosca e o índice C_{40} é de 70%. O material apresenta mistura de *till* da moraina que está ao lado do ponto de coleta, com material que sofreu desgaste por transporte glaciofluvial. Evidencia assim a complexidade deste ambiente, uma vez que mesmo o ponto de coleta sendo a jusante dos demais, pode ocorrer um aporte de material sedimentar de outras fontes, que foram expostas pela retração da geleira.

Clastos depositados em canais de derretimento glaciofluviais em ambientes de *outwash* exibem uma variedade de valores de arredondamento, dependendo da distância de transporte, litologia do clasto e resistência a abrasão (Rust, 1978). No caso da bacia proglacial analisada, o material aumenta a esfericidade e o arredondamento em função da distância de transporte glaciofluvial, evidenciando esse fator como determinante no retrabalhamento sedimentar.

Área sob influência de processos periglaciais

No canal glaciofluvial da bacia do rio do Vento (Figura 6), os clastos apresentam indícios de quebra e intemperismo físico pronunciado, indicado pelo alto valor de C_{40} na porção a montante do canal glaciofluvial (78% - amostra E), com material angular e subangular e esfericidade baixa. O ponto de coleta F apresenta queda de blocos em uma área íngreme, onde o rio do Vento se encaixa numa fratura estrutural. O material apresenta grãos angulosos e pouco esféricos e C_{40} de 52% no médio canal, e na porção mais a jusante onde predomina declividade abaixo de 4%, ocorre deposição do material fino, arredondado e com esfericidade média e índice C_{40} de 20%.

No principal canal da bacia do rio Grande há alteração e intemperismo químico *in situ*, com intenso retrabalhamento por água proveniente de fusão da neve. O valor de C_{40} é 52% para a amostra H e de 58% para a amostra I (Figura 6), o que indica que os sedimentos possuem arredondamento sub angular e esfericidade de baixa a média e possivelmente ligado a intemperismo *in situ* sendo o transporte glaciofluvial de pouca distância; o valor de C_{40} da amostra J é de 18%, retratando uma área depositada e trabalhada pelo transporte glaciofluvial e numa porção plana no fundo do vale com material sub arredondado e esfericidade média a boa; próximo ao exutório do canal os sedimentos apresentam valor de C_{40} baixo (12% na amostra K), com esfericidade média e sub arredondada.

Possivelmente, ocorre um processo de intemperismo químico nas paisagens periglaciais ligado a água líquida no sistema. Embora a intensidade das reações químicas seja menor que em áreas tropicais e não sendo capaz de modelar feições geomorfológicas, auxilia na movimentação de material (Dixon e Thorn, 2005). Contudo, o intemperismo físico predomina pela ação do congelamento e recongelamento da camada ativa do *permafrost* que desempenha papel fundamental na quebra e arredondamento desses sedimentos. Segundo Michel et al. (2014b), no período de 2008 a 2012 teve variação extrema na temperatura de superfície durante o verão, com frequentes ciclos de congelamento e descongelamento.

Atualmente, já podem ser evidenciadas mudanças ambientais como rebaixamento do relevo pela erosão, e as bacias serão preenchidas por sedimentos provenientes das paredes das falésias e também transportados por canais de fusão da neve. Com a continuidade do aumento de temperatura do ar para área e um possível aumento de precipitação líquida, esse preenchimento das bacias deve ser acelerado. A retração das

geleiras também contribuirá, não somente no aumento de água líquida disponível no sistema, bem como na área livre de gelo que se tornará

possível zona de origem de material sedimentar para preencher áreas de *outwash*.

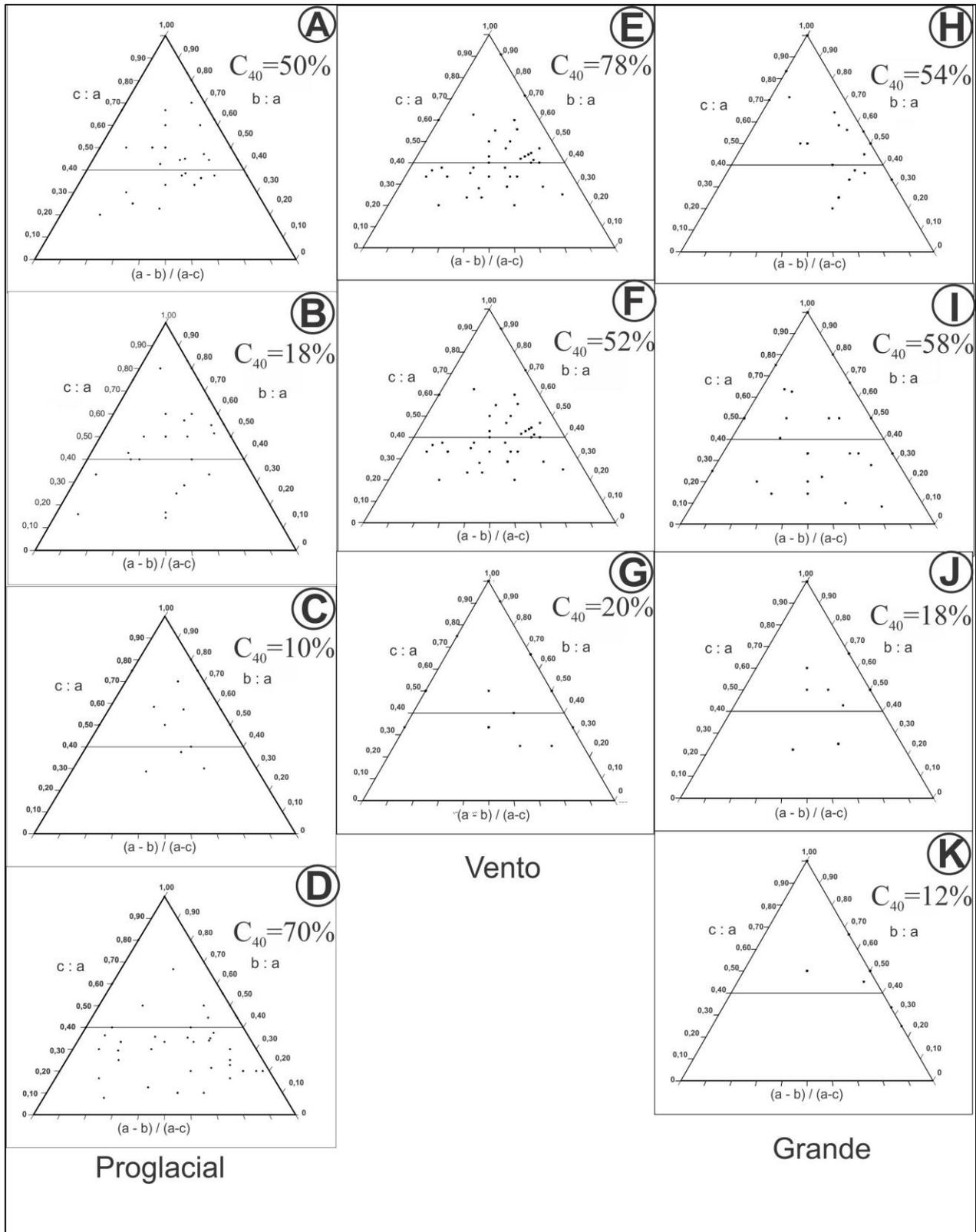


Figura 6: Valores de C_{40} e morfologia dos clastos. Para a área proglacial há um aumento do C_{40} (70%) na última amostra (D) devido ao movimento de material proveniente da moraina de avanço. A bacia do rio do Vento

demonstra índice C_{40} entre 78% e 20% (amostras E e G) e as amostras da bacia do rio Grande indicam valores de C_{40} entre 58% e 12% (amostras H e K).

Considerações finais

Atualmente, já podem ser evidenciadas mudanças ambientais na área, e com a tendência de aumento de temperatura do ar, juntamente com a retração das geleiras e liberação de maior aporte de água líquida deverá haver um aumento dos processos erosivos, e as bacias serão preenchidas por sedimentos provenientes das paredes das falésias e também transportados por canais de fusão da neve.

O material sedimentar encontrado no principal canal glaciofluvial da bacia do riacho Grande é formado por partículas mais retrabalhadas, pois apresentou maior grau de arredondamento, predominância de esfericidade média e fração granulométrica de areia. Desta forma, ocorre um intenso retrabalhamento pelos canais glaciofluviais que formam um sistema anastomosado e depositam os sedimentos na praia à jusante na bacia, formando um delta sedimentar progradante. Ocorre, provavelmente, intemperismo químico *in situ* nessa bacia, o que se explica pela presença de material orgânico proveniente de fezes de animais e também a umidade oriunda dos ventos provenientes do estreito de Drake. Além disso, ocorre um maior tempo de exposição aos processos intempéricos, devido a fusão da neve na maioria de suas vertentes no verão, o que pode intensificar o intemperismo químico nos sedimentos.

A bacia do rio do Vento apresenta o canal principal encaixado em fratura geológica onde ocorrem quedas de blocos aumentando o C_{40} e RA na porção média do canal principal. Os depósitos analisados tem maior proporção de cascalho na parte mais elevada (setor a montante) do canal, enquanto à jusante, no delta junto à praia, predomina a fração areia e material arredondado e esférico, o que evidencia seleção e retrabalhamento dos canais fluviais associados à fusão da neve.

Para o caso das duas bacias que estão sofrendo processos periglaciais, um aumento de temperatura do ar para a área pode significar uma maior quantidade de água de fusão da neve e possivelmente maior retrabalhamento do material e quebra desse para frações de areia, silte e argila. Podem ocorrer mudanças ambientais como rebaixamento do relevo pela erosão, e as bacias serão preenchidas por sedimentos provenientes das paredes das falésias e também transportados por canais de fusão da neve.

Os sedimentos no setor proximal proglacial da geleira se apresentam angulosos e pouco esféricos na amostra imediatamente a frente do corpo glacial, indicando transporte supraglacial, o que pode ser indicado pela ausência de estrias. Nas demais amostras observa-se que sistema proglacial recebe material de diversas fontes, pelos canais de fusão da geleira e também por áreas rochosas adjacentes. Os lagos exercem um processo de selecionamento dos grãos com deposição do material mais grosso. Na última amostra (amostra D) ocorre adição de sedimentos provenientes de movimentos de massa e gelifluxão da moraina de avanço aumento a quantidade de material cascalhoso. O retrabalhamento dos sedimentos desse sistema proglacial são típicas do ambiente, porém é importante destacar que se continuar havendo a retração da geleira Collins, essa zona poderá sofrer modificações. Provavelmente, haverá mais áreas expostas atuando como fonte de sedimentos e incremento do aporte de água de degelo provocando mudanças nos processos de erosão, transporte e sedimentação da zona proglacial.

Agradecimentos

Pelos recursos provenientes da Fapergs, CAPES e ao CNPq pelos recursos via Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera (Processo CNPq 573720/2008-8). Também as Bases Científicas que apoiaram o trabalho de campo: Artigas (Uruguai) e Profesor Julio Escudero (Chile).

Referências

- Ballantyne, C.K., 2002. Paraglacial geomorphology. *Quaternary Science Review* 21, 1935–2017.
- Barboza, H.H.C., Bortoli, A.L., Simões, J.C., Cunha, R.D., Braun, M., 2004. Bidimensional numerical simulation of Lange Glacier, King George Island, Antarctica: preliminary results. *Pesquisa Antártica Brasileira* 4, 67–76.
- Barsh, D., Mausbacher, R., 1986. New data on the relief development of the South Shetland Islands, Antarctica. *Interdisciplinary Science Review* 11, 211–219.
- Barton, C. M., 1995. The geology of the South Shetland Islands: The stratigraphy of King George Island. *British Antarctic Survey Scientific Bulletin* 44, 33.

- Benn, D.I., Ballantyne, C.K., 1994. Reconstructing the transport history of glaciogenic sediments—a new approach based on the covariance of clast form indices. *Sedimentary Geology* 91, 1–4, 215–227.
- Benn, D.I., Evans, D.J.A., 2010. *Glaciers and Glaciation*. Londres: Arnold, 734.
- Bennett, M.R., Glasser, N.F., 1996. *Glacial Geology - Ice Sheets and Landforms*. Londres: John Wiley, 364.
- Bennett, M.R., Hambrey, M.J., Huddart, D., 1997. Modification of clast shape in high-Arctic environments. *Journal of Sedimentary Research* 67, 3, 550–559.
- Beylich, A.A., Gintz, D., 2004. Effects of high-magnitude/low-frequency fluvial events generated by intense snowmelt or heavy rainfall in Arctic periglacial environments in northern Swedish Lapland and northern Siberia. *Geografiska Annaler* 86A, 11–29.
- Beylich, A.A., Sandberg, O., Molau, U., Wache, S., 2016. Intensity and spatio-temporal variability of fluvial sediment transfers in an Arctic-ocean periglacial environment in northernmost Swedish Lapland (Latnjavagge catchment). *Geomorphology* 80, 114–130.
- Bigarella, J.J., 1946. Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. *Arquivos Biologia Tecnologia* 1, 75-111.
- Birkenmajer, K.A., 1989. Guide to tertiary geochronology of King George Island, West Antarctica. *Polish Polar Research* 10, 555–579.
- Bockheim, J.G., Hall, K. J., 2002. Permafrost, active-layer dynamics and periglacial environments of continental Antarctica. *South African Journal of Science* 98, 82–90
- Bradley, W.C., Fahnestock, R.K., Rowekamp, E.T., 1972. Coarse sediment transport by flood flows on Knik River, Alaska. *Geological Society of America Bulletin* 83, 1261–1284.
- Bremer, U.F., 2008. Solos e geomorfologia da borda leste da península Warszawa, ilha Rei George, Antártica Marítima. Tese doutorado – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 136.
- Carrivick, J.L., Geilhausen, M., Warburton, J., Dickson, N.E., Carver, S.J., Evans, A.J., Brown, L.E., 2013. Contemporary geomorphological activity throughout the proglacial area of an alpine catchment. *Geomorphology* 188, 83–95.
- Clark, M.J., 1988. Periglacial hydrology. *In: Clark, M.J. (Ed.), Advances in Periglacial Geomorphology*. Chichester: Wiley, 415–462.
- Dixon, J.C., Thorn, C.E., 2005. Chemical weathering and landscape development in mid-latitude alpine environments. *Geomorphology* 67, 127–145.
- Evans, D.J.A., Phillips, E.R., Hiemstra, J.F., Auton, C.A., 2006. Subglacial till: formation, sedimentary characteristics and classification. *Earth-Science Reviews* 76, 115–176.
- Hall, B., 2007. Late-Holocene advance of the Collins Ice Cap, King George Island, South Shetland Islands. *The Holocene* 17, 1253–1258.
- Hallet, B., Hunter, L., Bogen, J., 1996. Rates of erosion and sediment evacuation by glaciers: a review of field data and their implications. *Global and Planetary Change* 12, 213–35.
- Heckmann, T., Haas, F., Morche, D., Schmidt, K. H., Rohn, J., Moser, M., Leopold, M., Kuhn, M., Briese, C., Pfeiffer, N., Becht, M., 2012. Investigating a n Alpine proglacial sediment budget using field measurements, airborne and terrestrial LiDAR data. *In: Collins, A.L., Golosov, V., Horowitz, A.J., Lu, X., Stone, M., Walling, D.E., Zhang, X. (Eds.)*, 2012. *Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment*. Wallingford: IAHS Publication 356, 438–44.
- Hubberd, B., Glasser, N., 2005. *Field Techniques in glaciology and glacial geomorphology*. West Sussex: John Wiley, 400.
- Hughes, P., Woodward, J., 2009. *Glacial and Periglacial Environments in Glacial and Periglacial Environments*. Oxford: Oxford University Press, 354–384.
- Hoey, T.B., 2004. The size of sedimentary particles. *In: Evans, D.J.A., Benn, D.I.A., 2004. Practical guide to the study of glacial sediments*. Londres: Hodder Education, 280.
- John, B.S., 1972. Evidence from the South Shetland Islands towards a glacial history of West Antarctica. *In: Sugden, D.E., Price, R. J. (eds)*, 1972. *Polar Geomorphology*. Londres: Institute of British Geographers, 75–92.
- John, B.S., Sugden, D.E., 1972. Raised marine features and phases of glaciation in the South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin* 24.
- Krumbein, W.C., 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology* 11, 64–72.
- Le Heron, D.P., Sutcliffe, O.E., Whittington, R.J., Craig, J., 2005. The origins of glacially related soft sediment deformation structures in Upper Ordovician glaciogenic cracks: implication for

- ice sheet dynamics. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 218, 75–103.
- Lane, S.N., Bakker, M., Gabbud, C., Micheletti, N., Saugy, J. N., 2016. Sediment export, transient landscape response and catchment-scale connectivity following rapid climate warming and Alpine glacier recession. *Geomorphology* 277, 210–227.
- Lewis, D.W., McConchie, D.M., 1994. *Practical Sedimentology*. Springer, 217.
- López-Martínez, J., Serrano, E., Schmid, T., Mink, S., Linés, C., 2012. Periglacial processes and landforms in the South Shetland Islands (Northern Antarctic Peninsula region). *Geomorphology* 155–156, 62–79.
- Menzies, J., 1995. *Modern Glacial Environments: Processes, dynamics and sediments*. Oxford, Butterworth-Heinemann, 392.
- Mercier, D., 2008. Paraglaciaire et changements climatiques, *Bulletin de l'Association de Géographes Français* 2, 131–208.
- Mercier, D., Étienne, S., 2008. Paraglacial geomorphology: processes and paraglacial context. *Geomorphology* 95, 1–10.
- Michel, R.F.M., Schaefer, C.E.G.R., López-Martínez, J., Simas, F.N.B., Haus, N.W., Serrano, E., Bockheim, J.G., 2014a. Soils and landforms from Fildes Peninsula and Ardley Island, Maritime Antarctica, *Geomorphology* 225, 76–86.
- Michel, R.F.M., Schaefer, C.E.G.R., Simas, F.M.B., Francelino, M.R., Fernandes-Filho, E.I., Lyra, G.B., Bockheim, J.G., 2014b. Active-layer thermal monitoring on the Fildes Peninsula, King George Island, Maritime Antarctica. *Solid Earth* 5, 1361–1374.
- Porter, P.R., Vatne, G., Irvine-Fynn, T.D.L., 2010. Ice-marginal sediment delivery to the surface of a high-Arctic glacier: Austre Brøggerbreen, Svalbard. *Geographical Annals* 92, 437–449.
- Rakusa-Suszczewski, S., Mietus, M., Piasecki, J. Weather and climate., 1993. *In: Rakusa-Suszczewski, S. (ed.), 1993. The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay*. Varsóvia: Polish Academy of Sciences, 19–25.
- Rosa, K.K., 2012. Dinâmica glacial, sedimentológica e variações ambientais em geleiras na enseada Martel, ilha Rei George, Shetlands do Sul. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.
- Rust, B.R., 1978. Depositional models for braided alluvium. *In: Miall, A.D. (ed.), 1978. Fluvial Sedimentology*. Society of Petroleum Geologists 5, 605–625.
- Smith, M.J., Rose, J., Booth, S., 2006. Geomorphological mapping of glacial landforms from remotely sensed data: An evaluation of the principal data sources and an assessment of their quality. *Geomorphology* 76, 148–165.
- Sudgen, D.E., Lapperton, C.M., 1986. Glacial history of the Antarctic Peninsula and South Georgia. *South African Journal of Science* 82, 508–509.
- Uhlmann, M., Korup, O., Huggel, C., Fischer, L., Kargel, J.S., 2013. Supra-glacial deposition and sediment flux of catastrophic rock-slope failure debris, south-central Alaska. *Earth Surface Processes Landforms* 38, 675–682.
- Vieira, R., Marotta, H., Rosa, K.K., Jana, R., Simoes, C.L., Souza Junior, E., Ferreira, F., Ramos, J.V.S., Santos, L.R.S., Perroni, M.A., Goncalves, M., Felizardo, J.P.S., Rodrigues, R.I., Galvao, J.C.M., 2015. Análisis Sedimentológico y geomorfológico de áreas lacustres em la Península Fildes, Isla Rey Jorge, Antártica Marítima. *Revista Investigaciones Geograficas Universidad de Chile* 49, 3–30.
- Watcham, E.P., Bentley, M.J., Hodgson, D.A., Roberts, S.J., Fretwell, P.T., Lloyd, J. M., Larter, R.D., Whitehouse, P.L., Leng, M.J., Monien, P., Moreton, S.G., 2011. A new Holocene relative sea level curve for the South Shetland Islands, Antarctica. *Quaternary Science Reviews* 30, 3152–3170.
- Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* 30, 377–392.
- Zhu, C., Cui, Z., Zhang, J., 1996. Relationship between the distribution of periglacial landforms and glaciation history, Fildes peninsula, King George island, Antarctica. *Permafrost and Periglacial Processes* 17, 95–100.