

UMA REVISÃO SOBRE OS REGISTROS PALEOCLIMÁTICOS DAS MUDANÇAS GLACIAIS NO HOLOCENO NA ILHA REI GEORGE

A review of the paleoclimatic records of glacial variations in Holocene in King George Island

Revisión de los registros paleoclimáticos de cambios glaciales en el Holoceno en la Isla Rey Jorge

Cleiva Perondi*

Kátia Kellem Rosa**

Rosemary Vieira***

Carina Petsch****

*Universidade Federal do Rio Grande do Sul – cleivaperondi@gmail.com.

** Universidade Federal do Rio Grande do Sul – katia.rosa@ufrgs.br.

*** Universidade Federal Fluminense – rosemaryvieira@id.uff.br.

**** Universidade Federal de Santa Maria – carinapetsch@gmail.com.

Recebido em 27/07/2021. Aceito para publicação em 12/07/2022.

Versão online publicada em 08/11/2022 (<http://seer.ufrgs.br/paraonde>)

Resumo:

O artigo objetiva realizar uma revisão sistemática de literatura sobre os registros paleoclimáticos da evolução da deglaciação no Holoceno e um mapeamento das datações existentes na ilha Rei George (IRG), Antártica Marítima. Buscou-se artigos publicados em inglês e português, publicados até 2022 em duas bases de dados, Portal de Periódicos da CAPES e *Science Direct*. Foram encontrados noventa e seis artigos e ao aplicar uma filtragem foram selecionados quinze artigos. Os registros evidenciam a evolução da cobertura glacial para a IRG: a) início da deglaciação ocorreu há 9000 anos AP e levou ao recuo das geleiras de descarga até a parte central dos fiordes; b) recuo da margem das geleiras de maré na Baía *Maxwell* até a cabeceira do fiorde (enseadas), entre 4,5 e 2,8 mil anos cal AP; c) avanço de geleiras há 3500 anos AP; d) geleiras oscilaram até 1700 anos AP e há registro de estabilização de frentes glaciais marinhas no período Neoglacial (entre 2600 e 1600 cal anos AP; e) houve avanço Neoglacial por volta de 1700 anos AP; f) evolução da deglaciação de plataformas rasas até 1200 anos cal AP; g) eventos frios Neoglaciais entre 250 e 450 anos AP. O inventário de informações geocronológicas e reconstruções paleoglaciais existentes para a região sintetizou evidências da evolução da deglaciação com momentos de estabilização e reavanços no Holoceno. De acordo com o mapeamento das datações demonstra-se que há poucos registros sedimentares datados para detalhar as flutuações das margens glaciais nas baías da IRG.

Palavras-chave: Feições de relevo glacial. Paleoclimatologia. Deglaciação. Avanço glacial. Pequena Idade do Gelo.

Abstract:

The work aims to carry out a systematic review of the literature on paleoclimatic records of the evolution of deglaciation in the Holocene in King George Island (KGI), Maritime Antarctic, and mapping their dating records. We searched for articles published in English and Portuguese, published until 2022 in two databases, Portal de Periódicos CAPES and Science Direct. Ninety-six articles were found, by applying a filtering, fifteen articles were selected. Records show the evolution of glacial cover for KGI: a) beginning of last deglaciation began 9 Ky BP and led to the retreat of the discharge glaciers to the central part of the fjords; b) retreat from the margin of the tidewater glaciers in Maxwell Bay to the head of the fjord (coves) between 4.5 and 2.8 Ky cal BP; c) advance of glaciers 3.5 k BP; d) glacier margins have fluctuations up to 1.7 years BP and there is record stabilization of marine ice fronts in the Neoglacial period (between 2.6 and 1.6 cal years AP; e) Neoglacial advance around 1.7 k BP; f) evolution of the deglaciation of shallow platforms up to 1.2 k BP; g) Cold Neoglacial events between 250-450 years BP. The inventory and synthesis of geochronological information and paleoglacial reconstructions for island evidence multiple stillstands or readvance during deglaciation from the Holocene. According to the mapping of the dating records was verified that the high-resolution well-dated archives are still needed from sensitive locations to improve to detail glacial margin fluctuations in KGI bays.

Keywords: Glacial landforms. Paleoclimatology. Deglaciation. Glacial Advance. Little Ice Age.

Resumen:

El artículo tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura sobre registros paleoclimáticos de la evolución de la desglaciación en el Holoceno y un mapeo de la datación existente en la isla Rey Jorge, Antártica Marítima. Buscamos artículos publicados en inglés y portugués, publicados hasta 2022 en dos bases de datos, Portal de Periódicos CAPES y Science Direct. Se encontraron 96 artículos, aplicando un filtrado se seleccionaron quince artículos. Los registros evidencian la evolución de la cobertura glacial para la isla Rey Jorge: a) el comienzo de la desglaciación ocurrió hace 9000 años AP y llevó al retroceso de los glaciares de desbordamiento hasta la parte central de los fiordos; b) retroceso del margen de los glaciares de marea en la bahía Maxwell hasta la cabecera del fiordo (ensenadas) entre 4500 y 2800 cal años AP; c) avance de los glaciares hace 3500 años AP; d) los glaciares han oscilado hasta 1700 años AP y hay registro de estabilización de frentes glaciares marinos en el período Neoglacial (entre 2600 y 1600 cal años AP; e) avance neoglacial alrededor de 1700 años AP; f) evolución de la desglaciación las partes menos profundas de la plataforma hasta 1200 cal años AP; g) eventos fríos neoglaciales entre 250-450 años AP. El inventario de las informaciones geocronológicas y reconstrucciones paleoglaciares existentes para la región sintetizó evidencias de la evolución de la desglaciación con momentos de estabilización y reavances en el Holoceno. Según el mapeo de las fechas se demuestra que existen pocos registros sedimentarios fechados en alta resolución para detallar las fluctuaciones de los márgenes glaciares en las bahías de la isla Rey Jorge.

Palabras-clave: Relieve Glacial. Paleoclimatología. Desglaciación. Avance Glacial. Pequeña Edad de Hielo.

INTRODUÇÃO

Para a Antártica há um intenso debate científico sobre os padrões geográficos das implicações das mudanças climáticas recentes (OLIVA; RUIZ-FERNANDEZ, 2020). Diante da tendência de aquecimento atmosférico nas recentes décadas, relacionadas à intensificação da contribuição de gases que acentuam o efeito estufa, os estudos paleoclimáticos são relevantes para compreender as recentes variabilidades climáticas e projetar futuras mudanças no sistema climático terrestre (BRADKEY, 1999; RUDDIMAN, 2009; OLIVA; RUIZ-FERNANDEZ, 2020). Os padrões de mudanças climáticas passadas são documentados por dados proxies os quais são considerados substitutos dos dados instrumentais modernos (BRADKEY, 1999).

Dessa forma, é fundamental entender, no contexto de uma longa escala de tempo, quais são os efeitos das mudanças na temperatura média do ar nos sistemas glaciais e retroalimentações decorrentes (BRADKEY, 1999; RUDDIMAN, 2009). A história climática e glacial desde o Último Máximo Glacial (UMG) do fiorde da Baía do Almirantado (BA), assim como as enseadas *Martel*, *Ezcurra* e *Mackellar* está relacionada ao contexto de mudanças regionais das ilhas *Shetlands* do Sul. Verifica-se que os fiordes mantêm interações terrestres, criosféricas, oceânicas e atmosféricas dentro do sistema terrestre e são sensíveis às oscilações climáticas. Os processos de sedimentação que ocorrem nesses ambientes trazem informações de como estes respondem às modificações ambientais ligadas ao clima (BIANCHI *et al.*, 2020).

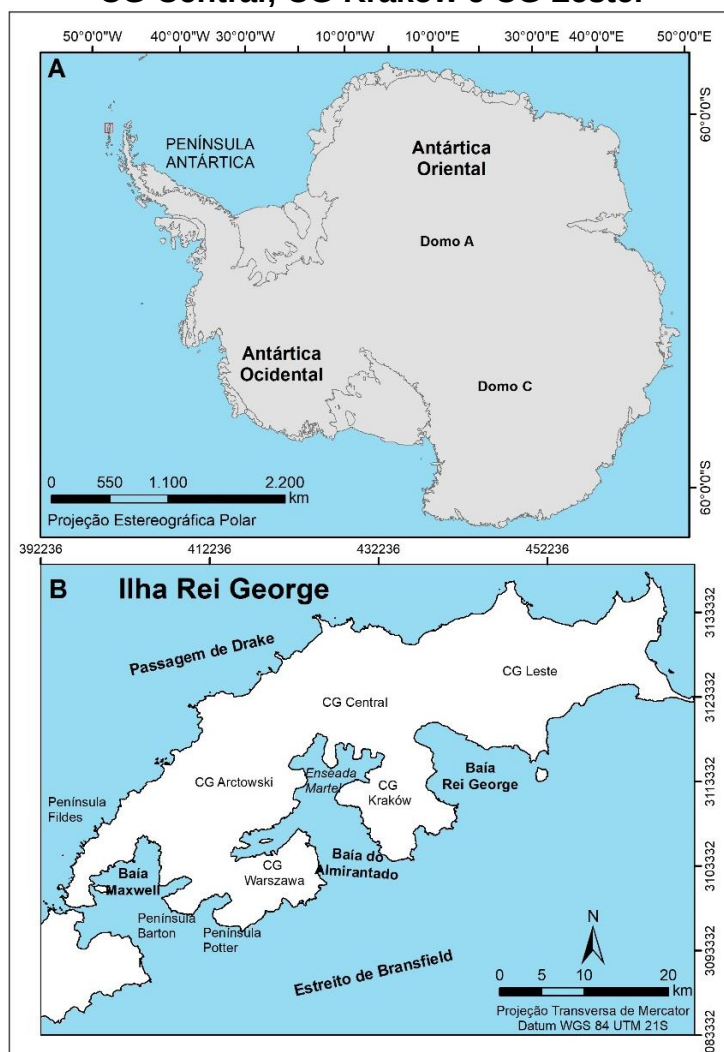
A porção central da BA revela um vale em U, com morainas que podem evidenciar a forma e extensão da margem das geleiras no passado. Assim, um inventário das informações geocronológicas e reconstruções paleoglaciais existentes para a região pode prover a interpretação da evolução da deglaciação e eventos de avanços no Holoceno na BA.

Sendo assim, o esforço de obter um referencial em um texto integrador dessas informações é relevante. Nesse viés, o artigo objetiva realizar uma revisão sistemática de literatura sobre os registros paleoclimáticos da evolução da deglaciação no Holoceno e um mapeamento das datações existentes na ilha Rei George (IRG), Antártica Marítima.

Um breve contexto climático e glaciológico da ilha Rei George

A IRG (62°12'0" S; 58°30'0" W) é a maior das ilhas *Shetlands* do Sul, sua área é de 1250 km², com 80 km em seu eixo sudoeste – nordeste e 15 km de largura aproximadamente, com 70 bacias de drenagem (BREMER, 1998). A maioria das geleiras são de desprendimento e fluem para baías, como a *Maxwell*, Rei George e Almirantado (Figura 1).

Figura 1 - B) Mapa de localização do fiorde da Baía do Almirantado na IRG, Antártica Marítima. Campo de Gelo (CG) Warszawa; CG *Arctowski*; CG Central; CG Kraków e CG Leste.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na BA, predominam geleiras de término marinho, mas também há ambientes marginais ao gelo terrestres. Entre as geleiras de grande extensão estão a *Lange* (29,5 km² de área em 2000), *Viéville* (20,5 km²) e *Dobrowolski* (12,7 km²). Na BA o Brasil mantém a Estação Antártica Comandante Ferraz, a qual é destinada ao apoio das pesquisas na região.

Nas últimas décadas, as mudanças na temperatura do ar na Península Antártica (PA) são significativas, o aumento de temperatura no oceano antártico está relacionado à deglaciação (KEJNA; ARAZNY; SOBOTA, 2013). Entre 1981 e 2010, a estação Antártica de *Bellinghausen*, na porção sul da IRG, teve a maior temperatura média anual na PA (TURNER *et al.*, 2020). Pudelko *et al.* (2018) registraram mudanças anuais no número de dias com temperaturas positivas nas estações de *Bellinghausen*, *Jubany* e Ferraz na IRG de 1968 a 2010. O clima está relacionado ao controle de retração glacial, pois mudanças de temperatura alteram o regime de degelo (AQUINO, 1999) e o balanço de massa

das geleiras.

As ilhas *Shetlands* do Sul possuem clima subpolar marítimo, influenciado por ciclones que têm orientação de leste a oeste no entorno do continente antártico (SETZER et al., 2004). No período do verão pode haver temperaturas positivas na IRG (BRAUN et al., 2001). A média de temperatura anual para a área de estudo é de -2,8 °C, sendo que para os meses de inverno varia entre -15,5 e -1,0 °C e para o período do verão varia de -1,3 a 2,7 °C (FERRON et al., 2004).

A IRG encontra-se em uma zona tectonicamente ativa, com falhas resultantes do processo de deformação estrutural ocorrido na IRG (BIRKENMAJER, 1989). Duas falhas importantes são registradas, com orientação ENE – WSW, a Falha *Ezcurra* e a Falha *Collins* (TOKARSKI, 1987). A IRG, apresenta vários blocos tectônicos separados por sua direção E-W e W-NW, com terrenos desarticulados entre si, com sistema de falhamentos com tendência NW-SE (KRAUS; POBLETE; ARRIAGADA, 2010).

A gênese da BA está no sistema de falhamentos, assim como as suas enseadas *Ezcurra*, *Mackellar* e *Martel* (CLAPPERTON, 1990; RAKUSA-SUSZEWSKI, 1993). Esses fiordes estiveram submetidos a diferentes glaciações e movimentos glacioeustáticos, desde o início do Oligoceno (BIRKENMAJER, 1991).

MATERIAIS E MÉTODOS

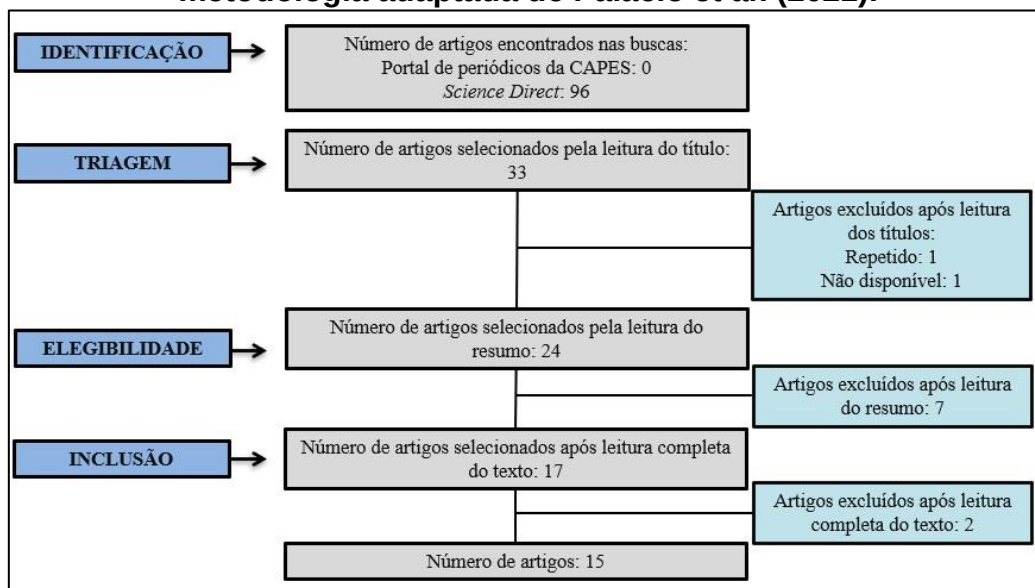
Levantamento bibliográfico

Salienta-se que foi escolhida a técnica de pesquisa bibliográfica para o desenvolvimento deste estudo, já que segundo Gil (2007), esta proporciona a investigação de mais fenômenos e uma área maior do que aquela que o pesquisador poderia diretamente avaliar. Para a Antártica, sobretudo, é essencial pois os trabalhos de campo realizados geralmente são em locais definidos e a possibilidade de fazer observações e coletas de dados em áreas mais amplas demanda de muita logística. Sendo assim, este estudo foi realizado com base em princípios da pesquisa integrativa, a qual visa analisar o conhecimento produzido atualmente sobre determinada temática, identificando, analisando e sintetizando resultados de diferentes estudos sobre o mesmo tema.

Para o desenvolvimento deste artigo foi realizada uma pesquisa bibliográfica baseada na busca de artigos em periódicos e capítulos de livros nas plataformas *Science Direct* e Portal de Periódicos da CAPES. Portanto, foi aplicada a metodologia de Palácio et al. (2021) que visou utilizar bases de dados com credibilidade científica, como artigos de periódicos em inglês e português, publicados até 2022.

Alguns critérios foram estabelecidos, além do uso das palavras-chave, pois nem todos os estudos científicos encontrados contemplavam os objetivos desta pesquisa (Figura 2). Nesse sentido, foram estabelecidas palavras-chave para os temas de interesse como: reconstrução de mantos de gelo, Holoceno, UMG, ilhas *Shetlands* do Sul, IRG e registros paleoclimáticos.

Figura 2 – Processo de seleção dos artigos nas bases de dados, metodologia adaptada de Palacio *et al.* (2021).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Elaboração do mapa das datações existentes

Com base nas informações de datações contidas nos artigos utilizados para esta pesquisa bibliográfica, realizou-se um mapa com o intuito de espacializar e demonstrar onde há maior concentração de dados de datações para a IRG. Para isso, foi criado um arquivo shapefile com a localização das datações, utilizando o Sistema de Informações Geográficas (SIG) no ArcGISTM 10.7.1. Na tabela de atributos foi inserido o número de pesquisas para cada um dos locais da IRG. Destaca-se que como as coordenadas geográficas da datação não estavam disponíveis em alguns trabalhos, se optou por inserir os pontos por áreas livres de gelo. A partir disso, usando a técnica de círculos geométricos proporcionais (MARTINELLI, 2003) o mapa foi gerado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Registro do Último Máximo Glacial e a posterior deglaciação até a parte central dos fiordes

Os ciclos glaciais do Pleistoceno e do Holoceno na Antártica são registrados por testemunhos de gelo, registros marinhos e terrestres bem preservados, os quais representam a história climática do Hemisfério Sul e as interconexões climáticas com o Hemisfério Norte (BRADKEY, 1999; OLIVA; RUIZ-FERNANDEZ, 2020).

O UMG ocorreu há aproximadamente 21000 anos AP, o local mais notável desse evento é o Hemisfério Norte, onde mantos de gelo atingiram latitudes próximas a 45°N, dessa forma, uma grande porção da superfície terrestre entre

Muitos estudos estimam que a última expansão máxima da cobertura glacial na região da PA tenha ocorrido entre 20000 e 18000 anos AP (INGÓLFSSON *et al.*, 1998). Ó Cofaigh *et al.* (2014) apontam que entre 25000 e 20000 anos a PA e as ilhas *Shetlands* do Sul estavam em sua extensão máxima de cobertura glacial, a partir do qual ocorreu o início da deglaciação (Figura 3).

O rápido fluxo das correntes de gelo derivadas do manto de gelo da PA no UMG é registrado em feições submarinas, como *Grounding-Zone Wedges* (GZW) e lineações glaciais de mega escala (*Mega-Scale Glacial Lineations* - MSGL) na plataforma externa do Vale Vega, ilha Vega, com mais de 1000 m de profundidade e localizado entre 63° e 67° ao nordeste da PA (HEROY; ANDERSON, 2005; BATCHELOR *et al.*, 2020).

Simms *et al.* (2011) através da batimetria e descrições de testemunhos de sedimentos e dados sísmicos, mapearam uma GZW que marca a extensão da calota glacial durante o UMG para a porção nordeste da IRG. Para a Baía *Maxwell* com o uso de dados sísmicos, batimétricos e datações por radiocarbono em testemunhos sedimentares, esclarecem a expansão ao sul da margem da calota de gelo das ilhas *Shetlands* do Sul. Esta alcançava o Estreito de *Bransfield*, que possui em seu ambiente glaciomarinho depósitos vindos de

fiordes em forma de leques, evidenciando presença de plataforma de gelo durante o UMG. Na Baía *Maxwell*, sedimentos glaciomarinheiros datam de 14,1 - 14,8 mil anos AP, aproximadamente.

Estudos de Fretwell *et al.* (2010) indicam que as ilhas *Shetlands* do Sul não foram ocupadas pelo manto de gelo da PA no UMG, mas por um sistema glacial independente e centralizado entre as ilhas *Robert* e *Greenwich*, localizadas ao sudoeste da IRG. Entre 20000 e 18000 AP no Pleistoceno Superior, ocorreu a extensão máxima da calota de gelo nas ilhas *Shetlands* do Sul (BIRKENMAJER, 1981). Neste período, a plataforma de gelo das ilhas *Shetlands* do Sul atingia, ao norte, uma extensão de 50 km em relação a sua atual localização, e ao sul, atingia os limites íngremes do Estreito de *Bransfield*. Na Baía *Maxwell* o paleofluxo glacial possuía aproximadamente 570 m de espessura (SIMMS *et al.*, 2011).

A deglaciação na Antártica teria iniciado entre 27 e 22 mil anos AP quando, de acordo com testemunhos de gelo, ou a partir de 18 mil anos AP, de acordo com testemunhos sedimentares lacustres, momento que a temperatura do ar iniciou a uma tendência de aumento (GIRALT *et al.*, 2020). Para a PA e região, a maioria das reconstruções *multiproxies* obtidas de sedimentos lacustres sugere um aquecimento Holocênico iniciando entre 11,5 e 9 mil anos BP, já a maioria dos processos de deglaciação são encontrados para 7 mil anos AP (ainda que algumas áreas da Península *Byers* ainda estivessem totalmente cobertas por gelo neste momento), enquanto o período Hipertermal de meados do Holoceno tenha ocorrido apenas entre 4,5 e 2 mil anos AP (GIRALT *et al.*, 2020).

Assim, verifica-se que a IRG passou por diversas fases de deglaciação desde o UMG (SEONG *et al.*, 2006). Ó Córfaigh *et al.* (2014) reconstruíram, através de dados marinhos e terrestres, a evolução da camada de gelo da PA e ilhas *Shetlands* do Sul com a deglaciação desde o UMG. Feições de relevo glaciais e subglaciais a leste e oeste da PA indicam diversas correntes de gelo que fluíam rapidamente ao longo de vales. A cronologia para o recuo da plataforma de gelo até os dias atuais é realizada por datações de radiocarbono em sedimentos glaciomarinheiros, lacustres e materiais orgânicos terrestres, além de datações com nuclídeos cosmogênicos em rochas.

Os estudos mostram que o processo de deglaciação é registrado na IRG, através da datação de materiais de fragmentos de conchas amostradas no ambiente glaciomarinheiro da Baía *Maxwell* (62°14'59" S; 58°50'59" W), em 13,7 mil anos AP (Ó CÓFAIGH *et al.*, 2014). Estes estudos corroboram com datações cosmogênicas em superfícies glaciais realizadas por Seong *et al.* (2009) na Península *Barton* (62°13'35" S; 58°46'44" W) IRG, que mostram o início da deglaciação em $15,5 \pm 2,5$ mil anos AP.

Fernandéz *et al.* (2021) realizaram datações por núcleos cosmogênicos ^{10}Be em rochas ricas em quartzo e apontam para o início da perda de espessura glacial, a sudoeste da ilha *Livingston*, iniciado durante o UMG (22 mil anos AP, aproximadamente) e por volta de 14 a 13 mil anos AP esse processo foi intensificado, coincidindo com o começo da exposição de *nunataks*.

Pesquisas anteriores, como a de Sugden e Clapperton (1980), sugeriram que a deglaciação da região tenha começado anteriormente a 10000 anos AP. Já para Mäusbacher *et al.* (1989), que realizou datação com radiocarbono entre as ilhas Nelson e Rei George, o processo de deglaciação das ilhas *Shetlands* do Sul iniciou por volta de 8000 anos AP.

Com a evolução da deglaciação, a margem do gelo recuou aproximadamente 20 km na Baía *Maxwell*, IRG, até encontrar um ponto de ancoragem, onde ficou estabilizado até 10000 anos AP (SIMMS *et al.*, 2011). Por sua vez, há evidências que registram processos de deglaciação da IRG iniciados entre 9 e 5 mil anos AP (MÄUSBACHER *et al.*, 1989; HJORT; INGOLFSSON; BJÖRCK, 1992). No período de 9 mil anos AP, as geleiras da IRG tiveram retrações em direção às partes mais altas, deixando registrados pequenos fiordes, e algumas porções terrestres da IRG começaram a tornar-se áreas livres de gelo, intercalado por um reavanço por volta de 7 mil anos AP (MÄUSBACHER *et al.*, 1989).

Na Baía *Maxwell*, a variação nas taxas de carbono, sílica e diatomáceas, sugere rápido recuo glacial entre 10,1 e 8,2 anos cal AP (MILLIKEN *et al.*, 2009; Ó COFAIGH *et al.*, 2014). Por volta de 9 mil anos AP as geleiras de maré recuaram até a parte central do fiorde (SIMMS *et al.*, 2011).

Na área costeira das ilhas *Shetlands* do Sul são encontradas praias elevadas formadas pela elevação isostática devido a deglaciação após o UMG (JOHN; SUGDEN, 1971; BENTLEY *et al.*, 2005). Datação por radiocarbono em praias elevadas, com 18 a 21 m em relação ao nível médio dos mares, indicam sua formação há 7000 anos cal AP e a sua deglaciação por volta de 2000 anos AP (HALL, 2010).

Sugden e John (1973) constataram avanço glacial após 6000 anos AP. Barsch e Mäusbacher (1986b) dataram resquícios de pinguineiras de 6200 anos AP na península *Fildes* (62°12'20" S; 58°57'47" W), IRG, em praias com 18 m de elevação, que podem estar conexas ao ajuste glacioisostático ocorrido após a deglaciação. Para esse mesmo local praias holocênicas elevadas com 6 m de altitude datam de 7300 anos AP (JOHN; SUGDEN, 1971). Por sua vez, Rosa *et al.* (2013) identificaram em *Hennequin Point* (62°07'01" S; 58°23'12" W), IRG, praias elevadas, com formato lineares e curvas, paralelas à linha de costa.

Na Península *Fildes*, há evidências de recuo glacial holocênico com base na exposição de rochas estriadas (SEONG *et al.*, 2009) e início de sedimentação lacustre (MÄUSBACHER *et al.*, 1989). Ainda para a Península *Fildes*, os lagos *Kitezh* (62°11'59" S; 58°57'59" W) e *Long* (62°12'34" S; 58°58'30" W) estão localizados atrás de praias elevadas (16 m em relação ao nível médio dos mares), foram originalmente baías marinhas abertas e tornaram-se lagos durante o soerguimento glacioeustático da IRG. A transição do Holoceno Inferior levou a mudanças das condições marinhas para lacustres (MARTINEZ-MACCHIAVELLO *et al.*, 1996), conforme datações por radiocarbono em materiais com idade de 6000 anos AP no lago *Kitezh*, realizadas por Barsch e Mäusbacher (1986a) e Mäusbacher *et al.* (1989).

Os estudos paleoglaciológicos auxiliam na reconstrução de ambientes glaciais esclarecendo aspectos relacionados ao ritmo de avanços e recuos das geleiras desde o UMG. O entendimento da configuração ambiental desses locais ocorre

com base em testemunhos de gelo, registros de feições de relevo que ficam preservadas por longos períodos no ambiente subaéreo e nos fiordes.

Para as ilhas *Shetlands* do Sul, há registros mostrando que a expansão glacial máxima deu-se em torno de 20000 anos AP seguido por uma deglaciação das geleiras de maré até a parte central dos fiordes em aproximadamente 9000 anos AP. A obtenção desses registros ocorre através da identificação de feições de relevo glaciais, dados batimétricos, por meio de datações por radiocarbono em praias elevadas, sedimentos glaciomarinhas, lacustres, terrestres e datações por núclídeos cosmogênicos em rochas.

Holoceno Médio ao Holoceno Tardio – a deglaciação até a cabeceira dos fiordes e os reavanços glaciais

Na IRG, as geleiras estavam dentro dos seus limites atuais há 6000 anos AP (MARTINEZ-MACCHIAVELLO *et al.*, 1996, INGÓLFSSON, 2014) e posterior a 6000 anos AP a maior parte das geleiras da PA tinham tamanho semelhante ou menores ao atual (PALACIOS *et al.*, 2020). O recuo da margem das geleiras de maré na Baía *Maxwell* em fiordes tributários (enseadas/cabeceiras do fiorde) ocorreu entre 4,5 e 2,8 mil anos cal AP (YOON *et al.*, 2000). Embora que outro estudo afirme que este recuo tenha ocorrido há 5,9 mil anos AP (SIMMS *et al.*, 2011).

Estudos em sedimentos lacustres, turfeiras e musgos mostram que após as geleiras atingirem a costa atual seu recuo e desintegração foram mais lentos (BARSCH; MÄUSBACHER, 1986a; MÄUSBACHER *et al.*, 1989; ZALE; KARLÉN, 1989; MÄUSBACHER, 1991; INGÓLFSSON *et al.*, 1992; BJÖRCK *et al.*, 1996a e b; LÓPEZ-MARTÍNEZ *et al.*, 1996; HJORT *et al.*, 1997). Sendo assim, possivelmente na IRG as geleiras estavam nos limites atuais ou próximo a eles em 6000 anos AP (MARTINEZ-MACCHIAVELLO *et al.*, 1996).

Yoon *et al.* (2000) (Quadro 1) coletaram amostras de sedimentos nas Baías *Maxwell* (amostra S-19 coletada em 62°10'00" S; 58°30'00" W) e do Almirantado (amostra S-2 coletada em 62°08'00" S; 58°37'00" W), a 42 m de profundidade. Esses testemunhos sedimentares foram analisados quanto a presença de foraminíferos bentônicos, diatomáceas, carbono orgânico e sílica, com esses dados reconstruíram a paleoceanografia das baías e relacionaram com o processo de deglaciação da calota de gelo das ilhas *Shetlands* do Sul. Na Baía *Maxwell*, a baixa presença de diatomáceas, baixa sedimentação e esgotamento de carbono e sílica biogênica indicam um período frio entre 6200 e 4000 anos AP. A amostra S-19, obtida na Baía *Maxwell*, mostra que o início da sedimentação naquele ponto ocorreu em ± 6160 anos AP e a parte superior do testemunho é de ± 1280 anos AP.

Quadro 1 – Baía Maxwell. Resultados de datações AMS 14C e taxa de sedimentação dos testemunhos examinados.

Amostra	Profundidade de coleta (cm)	Idade (C14 BP)		Material
		Não corrigida	Corrigida	
Core S-19	20	2580±60	1280±60	Carbono orgânico
Core S-19	85	2860±60	1560±60	Carbono orgânico
Core S-19	140	5150±80	3850±80	Carbono orgânico
Core S-19	190	6130±120	4830±120	Carbono orgânico
Core S-19	230	7460±70	6160±70	Carbono orgânico
Core S-2	7	2160±60	860±60	Foraminífero calcítico
Core S-2	78	2460±50	1160±50	Foraminífero calcítico
Core S-2	118	2820±50*	1520±50	Foraminífero calcítico
Core S-2	118	2730±50*	1530±50	Carbono orgânico
Core S-2	128	3100±60	1800±60	Foraminífero calcítico

*Foi verificado se a datação em materiais diferentes de um mesmo local produz resultados idênticos, tanto em amostras de foraminíferos como em carbono orgânico. Não houve diferença significativa, de acordo com o quadro acima.

Fonte: Yoon *et al.* (2000).

Na BA, Birkenmajer *et al.* (1985) realizaram datações em testemunho de sedimento com 50 cm (turfeiras) coletadas em *Point Thomas* (62°16'79" S; 58°47'37" W, junto à estação polonesa *Arctowski*), onde mostra que a idade mínima de deglaciação para o local deu-se por volta de 5600 anos AP. Datações em musgos localizados nas margens da IRG assim como na Ilha Elefante mostram que também teve episódios de degelo em 5500 anos AP (BJÖRCK *et al.* 1991). Este período está relacionado ao *optimum* climático, com condições mais úmidas e quentes, até 4500 anos AP (OLIVA *et al.*, 2016).

Datações por radiocarbono em musgos e em turfeiras na margem leste do campo de gelo *Warszawa*, IRG, próximo à Estação Antártica Polonesa *Arctowski*, e ao sul da geleira *Ecology* (62°10'5" S; 58°35'83" W), apontam para uma fase de deglaciação nesta área há 4950 anos AP (BIRKENMAJER *et al.*, 1985) e 5000 a 4000 anos AP (FABISZEWSKI; WOJTUŃ, 1993; 1997). Este último registro está relacionado a idade da tundra amostrada de *Liano Point* (62°10" S; 58° 27'W), na face oeste de uma colina localizada a 200 m da costa e em uma cota de 36 m em relação ao nível médio dos mares.

No Holoceno, várias pesquisas sugerem que houve um avanço nas geleiras da PA e região, evidenciado por morainas de avanço e praias elevadas ao sul das ilhas *Shetlands* do Sul (SUGDEN; JOHN, 1973). Dessa forma, Mäusbacher (1991) e Ingólfsson (2014) verificaram evidências de expansão glacial para a IRG entre 5 e 4 mil anos AP, bem como há registros de avanço para este período para a ilha *Brabant*, em 5300 anos AP (HANSOM; FLINT, 1989; INGÓLFSSON, 2014). Para a Ilha *James Ross*, há dados sugerindo avanço glacial em 4600 anos AP (RABASSA, 1983).

Um *óptimum climático* (Máximo termal de meados do Holoceno Tardio) foi registrado para a PA entre 4,5 e 2,5 mil anos AP (INGOLFSSON, 2013). Ou entre 3169 e 2120 ano AP (STERKEN *et al.*, 2012). Ademais, datações por radiocarbono em morainas sugerem um avanço expressivo da geleira *Collins*, na Península de *Fildes*, IRG, em 3500 anos cal AP (HALL, 2007; 2009).

Oliva *et al.* (2016) denominam o evento de resfriamento climático e aumento do volume de gelo na PA como a Neoglaciação ocorrida entre 3000 e 900 anos AP. Os autores vão ao encontro do que sintetiza Björck *et al.* (1996a) ao reconhecer o período de 3000 anos AP como aquele em que as condições climáticas foram mais frias e secas, este que persistiu até 1.500 anos AP. De acordo com Oliva *et al.* (2016), depois deste Neoglacial, as condições climáticas foram mais quentes e mais úmidas, porém ainda mais frias quando comparadas ao *optimum* climático anterior ao Neoglacial. Na PA as geleiras passaram por avanços e retrações nos últimos 2500 anos (SUGDEN; JOHN, 1973; CURL, 1980; BIRKENMAJER, 1981; CLAPPERTON; SUGDEN, 1988; ZALE; KARLÉN, 1989; CLAPPERTON, 1990; LÓPEZ-MARTÍNEZ *et al.*, 1996; 2016) (Quadro 2).

Wöfl *et al.* (2016) identificaram um complexo morânico recente à frente da enseada *Potter* (IRG), e concluíram que essa feição está relacionada a mudanças nas condições climáticas e consequente estabilização da geleira *Fourcade* no período Neoglacial (entre 2600 e 1600 cal anos AP).

Quadro 2 - Síntese da evolução climática desde o UMG para a IRG obtida pela pesquisa e os referenciais bibliográficos.

Anos AP	Varição Climática	Flutuação paleoglaciológica	Registro paleoclimático
25000-18000	Tendência a resfriamento atmosférico	Máxima expansão glacial da PA e ilhas próximas (UMG)	Feições submarinas na plataforma externa (INGOLFSSON, HJORT; HUMLUM, 1998; Ó COFAIGH <i>et al.</i> , 2014)
Anos AP	Varição Climática	Flutuação paleoglaciológica	Registro paleoclimático
Depois de 18000	Tendência a aquecimento atmosférico	Registro de diminuição da espessura do gelo na ilha <i>James Ross</i>	Glasser <i>et al.</i> (2011)
15500 ± 25000	Tendência a aquecimento atmosférico	Registro de deglaciação na Península <i>Barton</i> , baía <i>Maxwell</i>	Datação de materiais de fragmentos de conchas amostradas no ambiente glaciomarinho (Ó COFAIGH <i>et al.</i> , 2014)
13700	Tendência a aquecimento atmosférico	Registro da continuidade do recuo glacial na baía <i>Maxwell</i>	Datação cosmogênica de material rochoso superficial (SEONG <i>et al.</i> , 2009)
Antes de 10000	Tendência a aquecimento atmosférico	Deglaciação das ilhas <i>Shetlands</i> do Sul	John (1972), Sudgen; Clapperton (1980), Hjort; Ingolfsson; Björck, (1992); Ingolfsson <i>et al.</i> (1992)
10000	Tendência a aquecimento atmosférico	A margem do gelo na Baía <i>Maxwell</i> recuou até aproximadamente 20 km para um <i>pinning point</i> em meio ao fiorde.	Simms <i>et al.</i> , 2011

10100 – 8200	Tendência a aquecimento atmosférico	Variação nas taxas de sedimentação de materiais carbonáticos, sílicos e diatomáceas na Baía <i>Maxwell</i>	Datação por radiocarbono em sedimentos marinhos (MILLIKEN <i>et al.</i> 2009).
Entre 9000-5000	Tendência a aquecimento atmosférico	Deglaciação da IRG	Mäusbacher <i>et al.</i> (1989); Martinez-Macchiavello <i>et al.</i> (1996).
±7000	Tendência a resfriamento atmosférico	Grande avanço das geleiras na IRG	Mäusbacher <i>et al.</i> (1989); Hjort; Ingolfsson; Björck (1992); Ingolfsson <i>et al.</i> (1992).
Antes de 6000 anos	Tendência a aquecimento atmosférico	Praias holocênicas elevadas na costa atual em até 20 m na IRG devido ao derretimento de parte da cobertura glacial	Barsch; Mäusbacher (1986b)
6000 anos AP	Tendência a aquecimento atmosférico	Degelo na IRG	Datação de sedimentos lacustres na Península <i>Fildes</i> (MARTINEZ-MACCHIAVELLO <i>et al.</i> , 1996)
6000-5000	Tendência a aquecimento atmosférico	Uma maior deglaciação na IRG	Hjort; Ingolfsson; Björck (1992); Ingolfsson <i>et al.</i> (1992)
3000 anos	Tendência a resfriamento atmosférico	Provável avanço das geleiras nas ilhas <i>Shetlands</i> do Sul	Mäusbacher <i>et al.</i> (1989)
Entre 3000-1000	Tendência a resfriamento atmosférico	Reavanço nas geleiras <i>outlet</i> das ilhas <i>Shetlands</i> do Sul ao longo dos vales glaciais atuais	Barsch; Mäusbacher (1986)
Entre 3000-2500	Máximo termal do Holoceno (condições mais úmidas e amenas)	Deglaciação	Björck <i>et al.</i> (1993)
Anos AP	Variação Climática	Flutuação paleoglaciológica	Registro paleoclimático
2500	Tendência a resfriamento atmosférico	Expansão glacial	Björck <i>et al.</i> (1993)
Entre 1800-1200	Tendência a resfriamento atmosférico	Expansão glacial	Seong <i>et al.</i> (2006); Sugden; John (1973)
1900	Tendência a aquecimento atmosférico	Deglaciação até as partes mais rasas do fiorde da Baía do Almirantado	Yoon <i>et al.</i> (2000)
1200	Tendência a aquecimento atmosférico	Evolução da deglaciação da plataforma rasa da Baía do Almirantado	Yoon <i>et al.</i> (2000)
1200	Tendência a aquecimento atmosférico	O Fiorde tributário da Baía do Almirantado tornou-se água aberta	Yoon <i>et al.</i> (2000)
~730; ~180	Tendência a resfriamento atmosférico	Avanço glacial na IRG	Datações liquenométricas (CURL, 1980; BIRKENMAJER, 1981;

(em 1240, 1720, 1780-1822)			CLAPPERTON; SUGDEN 1988; BJÖRCK <i>et al.</i> , 1996b)
1868 - 1915	Tendência a resfriamento atmosférico	Formação de morainas durante a PIG	Datações liquenométricas (ANGIEL; DAŹSKI, 2012).
450-250 anos cal AP	Tendência a resfriamento atmosférico	Reavanço das geleiras na IRG	Datações por luminescência em morainas terrestres. (SIMMS <i>et al.</i> , 2012)

Fonte: Elaborado pelos autores.

A reconstrução da temperatura baseada no registro de testemunho de gelo de idade até 50000 AP coletado na ilha *James Ross*, considerado o mais próximo da IRG obtido neste período, evidencia que plataformas de gelo se estendiam próximo ao setor norte da PA no Holoceno Superior durante um resfriamento pronunciado a partir de 2500 AP (MULVANEY *et al.*, 2012). Este resfriamento foi parte da variabilidade climática em escala de milênios de anos com anomalias opostas nos lados Oriental e Ocidental da Antártica (MULVANEY *et al.*, 2012).

Na Baía *Maxwell*, geleiras de maré recuaram entre 4,5-2,8 mil anos AP, com presença de gelo em pequenas enseadas até 1700 anos AP (YOON *et al.*, 2000). Simms *et al.* (2011) identificaram um avanço Neoglacial por volta de 1700 anos AP ao analisarem registros na Baía *Maxwell*. A deglaciação da plataforma rasa da BA (enseada *Martel*) ocorreu entre 1900-1200 anos cal AP (YOON *et al.*, 2000).

Para a enseada *Martel*, há estudos que realizaram datações em foraminíferos demonstrando possíveis datas de sua deposição. Como exemplo, Yoon (2000), que obteve coleta de foraminíferos na enseada *Martel* (62°12'0" S; 58°30'0" W), próximo à geleira *Dobrowolski*, identificou um depósito morânico que registrou o avanço glacial. O início da deposição sedimentar ocorre em aproximadamente 1800 anos AP e a parte superior do testemunho sedimentar (7cm) data de ±860 anos AP. Os registros sedimentares indicam que a plataforma mais rasa ao longo da margem da BA foi deglaciada há cerca de 1900 anos cal AP e tornou-se totalmente água aberta em 1200 anos cal AP (YOON, 2000) (Quadro 2).

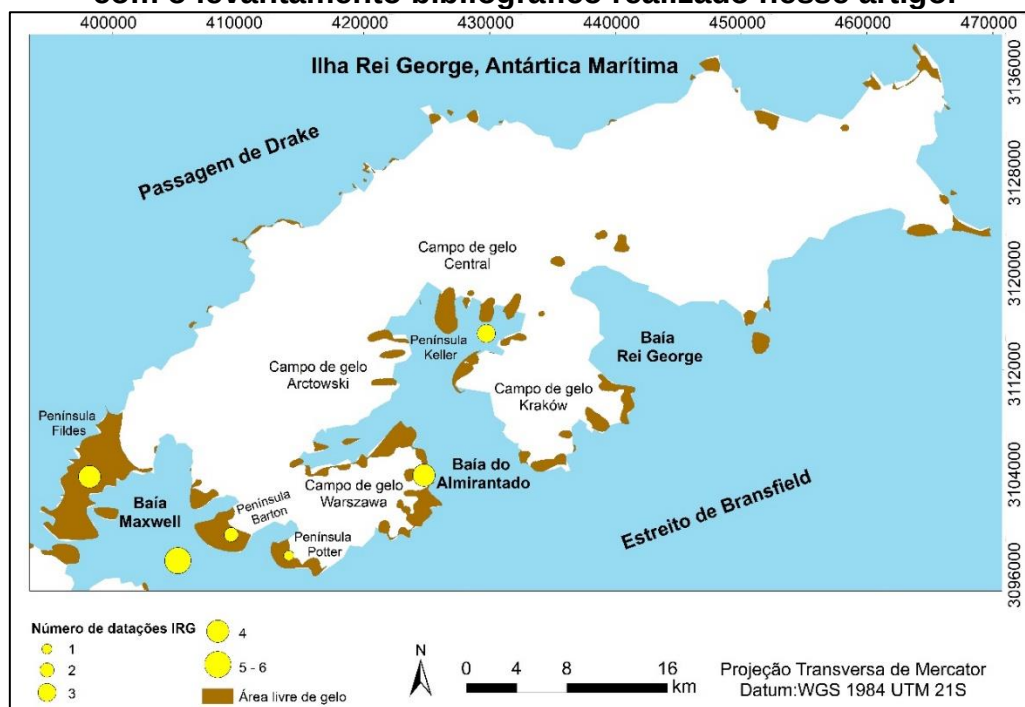
Alguns estudos apontam para uma configuração glacial na IRG semelhante aos limites atuais em aproximadamente 6000 anos AP e afirmam que a partir desse momento o processo de recuo das geleiras foi mais lento. A área de estudo também passou por uma fase de *óptimum* climático (Máximo termal do Holoceno) em 4500 anos AP, momento de condições mais úmidas e amenas e por um avanço glacial expressivo registrado na península *Fildes* em 3500 anos AP, com condições climáticas mais frias e secas. Com tendência de aquecimento atmosférico, a partir de 1900 anos AP, ocorreu a evolução da deglaciação da plataforma rasa da BA, seguida por reavanços glaciais.

Pequena Idade do Gelo na ilha Rei George, Antártica Marítima

De acordo com o levantamento bibliográfico realizado nesse artigo, observa-se que os estudos que incluem datações na IRG, estão concentrados,

principalmente, na Baía *Maxwell* (6 publicações), Península *Fildes* (4 publicações), e em menor quantidade em outros setores, como na margem leste do campo de gelo *Warszawa* (4 publicações), enseada *Martel* (3 publicações), Península *Barton* (2 publicações) e Península *Potter* (1 publicação) (Figura 4).

Figura 4 - Mapa com a espacialização das datações na IRG de acordo com o levantamento bibliográfico realizado nesse artigo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

De forma geral, nas ilhas *Shetlands* do Sul, Curl (1980), Birkenmajer (1981), Clapperton e Sugden (1988) e Björck *et al.* (1996b) encontraram evidências para expansões glaciais na forma de morainas de avanço e estas são encontradas cobrindo as praias elevadas Holocênicas. Há datações de reavanços nos anos de 1240, 1720, 1780 – 1822 (CURL, 1980; BIRKENMAJER, 1981). Nesse viés, datações em morainas, na ilha *Livingston*, mostram um avanço glacial há 300 anos atrás, ou seja, em 1650 (BJÖRCK *et al.*, 1996a; OLIVA *et al.*, 2016).

A ocorrência de eventos frios Neoglaciais estão conexos à PIG, o que foi registrado por morainas terrestres identificadas por Hall (2007), por Simms *et al.* (2012) e por Angiel e Dąbski (2012), todas localizadas na IRG. Datações liquenométricas no sul das ilhas *Shetlands* do Sul datam essa expansão em 1240, 1720 e entre 1780 e 1822 (BIRKENMAJER, 1981). As geleiras oscilaram na PA e região nos últimos 3 ou 2,5 mil anos AP devido à variabilidade climática e os avanços glaciais ocorridos nas ilhas *Shetlands* do Sul foram relacionados com resfriamento da PIG (INGOLFSSON, 2014).

Hall (2007) obteve registros morânicos (datação por radiocarbono) de aproximadamente 650 – 260 anos cal AP relacionados a um último avanço da geleira *Collins* (62°10'04" S; 58°53'22" W), na península *Fildes*. Datações em líquens confirmam que as morainas mais antigas da geleira *Ecology* (IRG), tem

formação entre 1880 e 1915, demarcando a extensão glacial da PIG no local (ANGIEL; DAŦSKI, 2012). Seong *et al.* (2006) evidenciaram avanço nas geleiras, entre os anos de 1200 e 1800, com base em datações por radiocarbono em morainas. No mesmo sentido, Simms *et al.* (2012) apontam para o reavanço das geleiras na IRG durante eventos de clima frios, há 450-250 anos cal AP, com base em datações por luminescência óptica estimulada em morainas terrestres.

Há datações para as praias elevadas nas ilhas *Shetlands* do Sul que indicam a sua formação entre 200 e 700 anos AP. Os autores atribuem este estágio de formação de praias elevadas também ao rápido recuo pós PIG, sendo que a formação da praia resulta da maior exposição às ondas durante os períodos de redução do gelo marinho observada a partir da comparação com os *proxies* de gelo marinho do Holoceno (SIMKINS, 2014).

Há morainas laterais e terminais que marcam antigas extensões das geleiras *Noble*, *Flagstaff* e *Ferguson*, na Península *Keller* (62°05'12" S; 58°23'50" W) (IRG) e algumas registram avanço glacial de cerca de 740 anos atrás (BIRKENMAJER 1979).

A extensão máxima das geleiras na IRG durante o Holoceno Tardio (últimos 4200 anos aproximadamente), é marcada por extensas morainas *ice-cored*, que se formaram ao final da PIG no início do século XX. Estudos liquenométricos das idades de morainas na Área Antártica Especialmente Protegida (ASP) 128 (62°12'0" S; 58°30'0" W), IRG, indicam que o recuo da geleira após a PIG foi relativamente lento até a década de 1940 (ANGIEL; DAŦSKI, 2012). A ocorrência da PIG também foi registrada por cristas transversais distais marinhas no setor interno dos fiordes na PA (GARCÍA *et al.*, 2016).

Observando a história paleoclimática desta região da Antártica com as demais regiões da Antártica, observa-se um sincronismo, principalmente quando se considera os registros das mudanças climáticas nos últimos 2000 anos (MOY *et al.*, 2009).

A temperatura atmosférica reconstruída a partir do testemunho JRI (parte norte da PA) evidencia o resfriamento pronunciado há 600 AP (MULVANEY *et al.*, 2012). De forma geral, a Antártica passou por condições mais frias e mais secas, com maiores velocidades de vento e uma maior extensão do gelo marinho na PIG (BERTLER; MAYEWSKI; CARTER 2011) e aumento dos ventos de Oeste (MAYEWSKI *et al.*, 2004; YAN *et al.*, 2005) relacionado à tendência de migração do cavado circumpolar em direção ao polo, que tem sido expresso por uma tendência positiva no Modo Anular Sul (SAM).

Mosley Thompson *et al.* (1990) mostraram a reconstrução da temperatura atmosférica para a PIG na Antártica, com base em um testemunho de gelo obtido na Estação *Siple* na PA (bem datado e em uma área de alta acumulação de neve). Os autores têm registros de temperatura até 1430 DC, ou seja, abrange o último Neoglacial (1500 – 1900 DC). Morgan (1985), por exemplo, indica um amplo período de resfriamento entre 1500 e 1850, seguido pelo gradual aquecimento até o presente, com registros de testemunho de gelo no Domo *Law* (66°46' S; 112°48' E). O registro de temperatura no Domo C (74°39'S; 124°10'E) sugere condições de resfriamento de 1200 a 1800 (BENOIST *et al.*, 1982). Dados para o Mar de *Ross* evidenciam que durante a PIG as temperaturas da superfície eram de aproximadamente 2 °C mais baixas, assim como menores temperaturas para a superfície do mar no Oceano Antártico, aumento da

extensão de gelo marinho, fortes ventos catabáticos e atenuação de acúmulo nival. De maneira geral, nesse período, a Antártica foi mais fria e tempestuosa (BERTLER; MAYEWSKI, CARTER, 2011).

Simms *et al.* (2021) realizaram datações em praias elevadas de três locais da região da PA, ilha *Joinville*, ilha *Greenwich* e Baía de *Marguerite*, evidenciando que a PIG ocorreu entre os anos de 1550 e 1860 CE e podem ter ocorrido dois avanços diferentes no período. Esse processo de resfriamento indica, não somente um fato local, mas faz parte de um padrão climático regional e contemporâneo a registros de resfriamento em outras partes da terra. Devido a sincronidade, esses fatos são atribuídos a dinâmica da atividade solar ou vulcânica.

Por fim, destaca-se que a PIG foi definida com base em avanços glaciais em outros continentes, como na Europa, com clima mais frio em todo o Hemisfério Norte (GROVE, 1988). Trata-se de uma mudança importante ocorrida nos últimos cinco mil anos e sugere-se que ela seja o evento mais recente de *Dansgaard-Oeschger*, que são oscilações climáticas abruptas em grande escala no último período glacial (GROVE, 1988). A Nova Zelândia que tem relação climática (KIDSTON; RENWICK; MCGREGOR, 2009) e oceânica (CARTER *et al.*, 2008) com a Antártica também passou por um resfriamento que teve início entre 1250 e 1350 DC, com pico entre 1500 e 1650 DC (LORREY *et al.*, 2008). O sul da América do Sul passou por mudanças climáticas, com registro de avanço de geleiras marcados pela formação de morainas recessionais de avanço entre 1600 e 1900 aproximadamente (KOCH; KILIAN, 2005; MOY *et al.*, 2009).

As datações revelam que assim como na América do Norte, a Antártica também passou por um período de resfriamento mais recente, a PIG, esse momento de resfriamento e expansão glacial na IRG é evidenciado com base na obtenção de datações e a presença de feições de relevo glaciais erosivas e deposicionais, as quais auxiliam na reconstrução precisa das flutuações glaciais ao longo do Holoceno para as baías e enseadas da IRG. Estes dados contribuem para a extração de geocronologias do ambiente glacial, os fiordes, por exemplo, auxiliam os estudos paleoglaciológicos e paleoclimáticos uma vez que guardam por longos períodos geoformas glaciais preservadas, registrando antigas posições das geleiras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se uma pesquisa bibliográfica sobre a evolução dos limites glaciais desde o UMG até a posição atual das frentes das geleiras na IRG. Destaca-se a importância do levantamento bibliográfico e compreensão dos dados já obtidos para a área de estudo, haja vista que pode-se compreender o comportamento das geleiras para toda a IRG, o que seria difícil de ser realizado diante das questões logísticas e financeiras que envolvem a pesquisa de campo na Antártica. A partir dos resultados desta pesquisa, o projeto para a IRG irá avançar, buscando dados para uma porção específica, a baía do Almirantado, por se constituir em uma área de rápidas mudanças ambientais e que demanda de análises temporais.

Os registros na IRG mostram que há evidências: a) início da deglaciação da IRG iniciaram há 9000 anos AP levando a ao recuo das geleiras de descarga até a parte central dos fiordes, formando feições de relevo submarino; b) relacionado ao *optimum* climático desde 4500 anos AP é registrado o recuo da margem das geleiras de maré na Baía *Maxwell* até a cabeceira do fiorde (enseadas) (entre 4500 e 2800 anos cal AP); c) avanço nas geleiras há 3500 anos AP; d) as geleiras passaram por avanços e retrações até 1700 anos AP e há registro de estabilização da geleira *Fourcade* (que flui para um fiorde tributário do fiorde *Maxwell*) no período Neoglacial (entre 2600 e 1600 cal anos AP); e) registros em duas áreas da IRG e na parte nordeste e Baía *Maxwell* identificaram um avanço Neoglacial por volta de 1700 anos AP; f) deglaciação da plataforma rasa do fiorde tributário da BA (enseada *Martel*) iniciado em 1900 e evoluído em 1200 anos AP; g) eventos frios Neoglaciais conexos à PIG e morainas terrestres.

Há uma variedade de arquivos e *proxies* que cobrem o Holoceno e a deglaciação desde o UMG. A maior parte dos dados que mostram a expansão glacial e a história de deglaciação é comprovada por depósitos marinhos datados por radiocarbono. Os registros datados são principalmente relacionados a praias elevadas e depósitos lacustres, os quais tiveram contribuição glacial. Há poucos registros datados por liquenometria e datação por radiocarbono em depósitos morânicos.

Verifica-se que os fiordes registram as informações de como as geleiras de descarga da ilha respondem às modificações ambientais ligadas ao clima. O estudo apresentado mostra a relevância da obtenção de um maior número de registros sedimentares datados no ambiente marinho das baías da IRG. São necessários registros de datações marinhas que cubram toda a BA e suas enseadas, ou alguns pontos estratégicos que permitam reconstruir espacial e temporalmente a evolução da deglaciação no Holoceno para toda a BA com mais precisão. De acordo com o levantamento bibliográfico realizado nesse artigo, observa-se que há mais estudos de datações para as áreas da Península *Fildes* e Baía *Maxwell* enquanto para as demais áreas da IRG as datações são escassas (Figura 4). A obtenção destas informações auxilia na geocronologia de ambientes, assim como podem servir de apoio ao mapeamento geomorfológico e reconstrução da margem glacial.

Considera-se relevante que a interpretação destes registros paleoclimáticos nos últimos 2000 anos possa ser amplamente discutida com enfoque nos aspectos que relacionam os mecanismos forçantes e interconexões interanuais entre esta região da Antártica e as demais regiões, assim como as interconexões entre as altas latitudes e as baixas latitudes.

A continuidade de estudos que mostram a configuração espacial das geoformas deposicionais e erosivas nos fiordes e a reconstrução da história glacial destes, representarão um avanço no maior entendimento dos registros de avanços e retrações glaciais na IRG.

Agradecimentos: Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR),

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e Centro Polar e Climático (CPC).

REFERÊNCIAS

- ANGIEL, P.J.; DAŹSKI, M. Lichenometric ages of the little ice age moraines on King George Island and of the last volcanic activity on penguin island (West Antarctic). **Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography**, Sweden, v. 94, n. 3, p. 395–412, 2012.
- AQUINO, F.E. **Sedimentação moderna associada à geleira de maré Lange, ilha Rei George, Antártica**. 106 p. Dissertação de mestrado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.
- BARSCH, D.; MÄUSBACHER, R. Beiträge zur Vergletscherungsgeschichte und zur Reliefentwicklung der Südshetland Insel. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Germany, v. 61, p. 25–37, 1986a.
- BARSCH, D.; MÄUSBACHER, R. New Data on the relief development of the South Shetland Islands. **Antarctic- Interdisciplinary Science Review**, England, v. 11 n. 2, p. 211–218, 1986b.
- BATCHELOR, C.L.; MONTELLI, A.; OTTESEN, D.; EVANS, J.; DOWDESWELL, E.K.; CHRISTIE, F.D.W.; DOWDESWELL, J.A. New insights into the formation of submarine glacial landforms from high-resolution Autonomous Underwater Vehicle data. **Geomorphology**, London, v. 107396, 2020.
- BENOIST, J.P.; JOUZEL, J.; LORIUS, C.; MERLIVAT, L.; POURCHET, M. Isotope climatic record over the last 2.5 ka from Dome C, Antarctic, ice cores. **Annals of Glaciology**, Cambridge, v. 3, p. 17-22, 1982.
- BENTLEY, M.; HODGSON, D.; SMITH, J.A.; COX, N. Relative sea-level curves for the South Shetland Islands and Marguerite Bay, Antarctic Peninsula. **Quaternary Science Reviews**, Montreal, v. 24, p. 1203-1216, 2005.
- BERTLER, N.A.N.; MAYEWSKI, P.A.; CARTER, L. Cold conditions in Antarctic during the Little Ice Age — Implications for abrupt climate change mechanisms. **Earth and Planetary Science Letters**, Northern Ireland, v. 308, n. 1-2, p. 41–51, 2011.
- BIANCHI, T.S.; ARNDT, S.; WILLIAN, E.N.A.; BENN, D.I.; BERTRAND, S.; CUI, X.; FAUST, J.; KOZIOROWSKA-MAKUCH, J.; CHRISTOPHER, M.M.; SAVAGE, C.; SMEATON, C.; SMITH, R.; SYVITSKI, J. Fjords as Aquatic Critical Zones (ACZs). **Earth Science Review**, USA, v. 203, p. 103145, 2020.
- BIRKENMAJER, K. Age of the Penguin Island Volcano, South Shetland Islands (West Antarctic), by the lichenometric method. **Bulletin Polish Academy of Sciences**, Warsaw, v. 27, n. 1-2, p. 69-76, 1979.
- BIRKENMAJER, K. Raised marine features and glacial history in the vicinity of Arctowski Station, King George Island (South Shetland Islands, Antarctic). **Quaternary Science Reviews**, Montreal, v. 29, n. 2, p. 109-117, 1981.

BIRKENMAJER K. Pre-Quaternary glaciations of West Antarctic: Evidence from the South Shetland Islands. **Polish Polar Research**, Warsaw, p. 5 n. 3-4, p.319 - 329, 1985.

BIRKENMAJER, K. King George Island. In: DALZIEL, I.W.D.; BIRKENMAJER, K.; MPODOZIS, C.; RAMOS, V.A.; THOMSON, M.R.A (Eds.). **Tectonics of the Scotia Arc. Antarctica**, p. 144-121, 1989.

BIRKENMAJER, K. Tertiary glaciation in the South Shetland Islands, west Antarctic: evaluation of data. In: THOMSON, M.R.A.; CRAME, J.A.; THOMSON, J.W. (Eds.). **Geological evolution of Antarctic**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991, p. 627-632.

BJÖRCK, S.N.; MALMER, C.; HJORT, P.; SANDGREN, Ó.; INGÓLFSSON, B.; WALLÉN, R.I.L.; SMITH, B.; LIEBERG, J. Stratigraphic and paleoclimatic studies of a 5,500-year-old moss bank on Elephant Island, Antarctic. **Arctic and Alpine Research**, London, v. 23, p. 361–374, 1991.

BJÖRCK, S.; HÅKANSSON, H.; OLSSON, S.; BARNEKOW, L.; JANSENS, J. Paleoclimatic studies in South Shetland Islands, Antarctic, based on numerous stratigraphic variables in lake sediments. **Journal of Paleolimnology**, Switzerland, v. 8, p. 233–272, 1993.

BJÖRCK, S.H.; OLSSON, S.; ELLIS-EVANS, C.; HUMLUM, O.; LIRIO, J.M. Late Holocene palaeoclimatic records from lake sediments on James Ross Island, Antarctic. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, USA, v. 113, p. 195–220, 1996a.

BJÖRCK, S.; HJORT, C.; INGÓLFSSON, O.; ZALE, R.; ISING, J. Holocene deglaciation chronology from lake sediments. In: LOPEZ-MARTÍNEZ, J.; THOMSON, M.R.A.; ARCHE, A.; BJÖRCK, S.; ELLIS-EVANS, J.C.; HATHWAY, B.; HERNÁNDEZ-CIFUENTES, F.; HJORT, C.; INGÓLFSSON, O.; ISING, J.; LOMAS, S.; MARTÍNEZ DE PISÓN, E.; SERRANO, E.; ZALE, R.; KING, S. (Eds.). **Geomorphological Map of Byers Peninsula, Livingston Island**. Cambridge: **British Antarctic Survey**, Cambridge, 1996b, p. 49–51.

BRADKEY, R.S. **Paleoclimatology**: Reconstructing Climates of the Quaternary. USA: Elsevier Academic Press, International Geophysics Series. 1999, v. 68, 614 p.

BRAUN M.; SAURER H.; VOGT S; SIMÕES J.C.; GROSSMANN H. The Influence of Large-scale Atmospheric Circulation on the Surface Energy Balance of the King George Island Ice. **International Journal of Climatology**, Czech Republic, v. 21, p 21–36, 2001.

BREMER, U.F. **Morfologia e bacias de drenagem da cobertura de gelo da ilha Rei George, Antártica**. 117p. Dissertação de mestrado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1998.

CARTER, L.; MANIGHETTI, B.; GANSEN, G.; NORTHCOTE, L.; SW Pacific modulation of abrupt climate change during the Antarctic Cold Reversal-Younger Dryas. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, USA, v. 260, p. 284–298, 2008.

CLAPPERTON, C.M.; SUGDEN, D.E. Holocene glacier fluctuations in South America and Antarctic. **Quaternary Science Reviews**, Montreal, v. 7, p. 185–198, 1988.

CLAPPERTON, C.M. Quaternary glaciations in the Southern Ocean and Antarctic Peninsula area. **Quaternary Science Reviews**, Montreal, v. 9, p. 229–252, 1990.

CURL, J.E. A glacial history of the South Shetland Islands, Antarctic. **Institute of Polar Studies Report**, USA, v. 63, 129 p. 1980.

FABISZEWSKI, J.; WOJTUŃ, B. Peat-forming vegetation. In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI (Ed.). **The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay**. Warsaw: Polish Polar Research, 1993, p. 189–1195.

FABISZEWSKI, J.; WOJTUŃ, B. The occurrence and development of peat mounds on King George Island (Maritime Antarctic). **Acta Societatis Botanicorum Poloniae**, Poland, v. 66, n. 2, p. 223–229, 1997.

FASTOOK, J.L.; HUGHES, T.J. New perspectives on paleoglaciology. **Quaternary Science Reviews**, 80, 169–194, 2013.

FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, J.M.; OLIVA, M.; PALACIOS, D.; GARCIA-OTEYZA, J.; NAVARRO, F.J.; SCHIMMELPFENNIG, I.; LÉANNI, L.; TEAM, A. Ice thinning on nunataks during the glacial to interglacial transition in the Antarctic Peninsula region according to Cosmic-Ray Exposure dating: Evidence and uncertainties. **Quaternary Science Reviews**, v. 264, 107029. 2021.

FERRON, F.A.; SIMÕES, J.C.; AQUINO, F.E.; SETZER, A.W. Air Temperature Time Series for King George Island, Antarctic. **Pesquisa Antártica Brasileira**, Brasil, v. 4, p. 155–169, 2004.

FRETWELL, P.T.; HODGSON, D.A.; WATCHAM, E.; BENTLEY, M.J.; ROBERTS, S.J. Holocene isostatic uplift of the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula, modelled from raised beaches. **Quaternary Science Reviews**, Montreal, v. 29, p. 1880–1893, 2010.

GARCÍA, M.; DOWDESWELL, J.A.; NOORMETS, R.; HOGAN, K.A.; EVANS, J.; Ó COFAIGH, C.; LARTER, R.D. Geomorphic and shallow-acoustic investigation of an Antarctic Peninsula fjord system using high-resolution ROV and shipboard geophysical observations: Ice dynamics and behaviour since the Last Glacial Maximum. **Quaternary Science Reviews**, Montreal, v. 153, p. 122–138, 2016.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GIRALT, S.; HERNÁNDEZ, A.; PLA-RABES, S.; ANTONIADES, D.; TORO, M.; GRANADOS, I.; OLIVA, M. Holocene environmental changes inferred from Antarctic lake sediments. In: OLIVA, M.; RUIZ-FERNANDEZ, J. (Eds.). **Past Antarctic: Paleoclimatology and Climate Change**. London: Academic Press, 2020, p. 51 – 65.

GLASSER, N.F.; SCAMBOS T.A.; BOHLANDER J.; TRUFFER M.; PETTIT, E.; DAVIES, B. J. From ice-shelf tributary to tidewater glacier: continued rapid recession, acceleration and thinning of Röhss Glacier following the 1995 collapse

of the Prince Gustav Ice Shelf, Antarctic Peninsula. **Journal of Glaciology**, Cambridge, v. 57, p. 397–406, 2011.

GROVE, J.M. **The Little Ice Age**. London: Methuen, 1988. 498 p.

HALL, B.L. Late-Holocene advance of the Collins ice cap, King George Island, South Shetland islands. **The Holocene**, United Kingdom, v. 17, p. 1253-1258, 2007.

HALL, B.L. Holocene glacial history of Antarctica and the sub-Antarctic islands. **Quaternary Science Review**, v. 28, p. 2213–2230. 2009.

HALL, B.L. Holocene relative sea-level changes and ice fluctuations in the South Shetland Islands. **Global and Planetary Change**, China, v. 74, p.15-26, 2010.

HANSEN, J.E.; TAKAHASHI, T. **Climate process and climate sensitivity**. Geophysical Monograph Series, v. 29. 1984, 368 p.

HANSOM, J.D.; FLINT, C.P. Short notes. Holocene ice fluctuations on Brabant Island, Antarctic Peninsula. **Antarctic Science**, Cambridge. v. 1, p. 165–166, 1989.

HEROY, D.C.; ANDERSON, J.B. Ice-sheet extent of the Antarctic Peninsula region during the Last Glacial Maximum (LGM) e insights from glacial geomorphology. **GSA Bulletin**, USA, v. 117, p. 1497-1512, 2005.

HJORT, C.; INGOLFSSON, O.; BJÖRCK, S. The last major deglaciation in the Antarctic Peninsula region. A review of recent Swedish Quaternary research. In: YOSHIDA, Y.; KAMINUMA, K.; SHIRAIISHI, K. (Eds.). **Recent Progress in Antarctic Earth Science**. Tokyo: Terra Scientific Publishing Company, 1992, p.741–743.

HJORT, C.; INGÓLFSSON, Ó.; MÖLLER, P.; LIRIO, J.M. Holocene glacial history and sea-level changes on James Ross Island, Antarctic Peninsula. **Journal of Quaternary Science**, United Kingdom, v. 12, p. 259–273, 1997.

INGOLFSSON, O.; HJORT, C.; BJÖRCK, S.; SMITH, R. Late Pleistocene and Holocene glacial history of James Ross Island, Antarctic Peninsula. **Boreas**, Dinamarca, v. 21, n. 3, p. 198–222, 1992.

INGÓLFSSON, O.; HJORT, C.; BERKMAN, P.; BJÖRCK, S.; COLHOUN, E.; GOODWIN, I.D.; HALL, B.; HIRAKAWA, K.; MELLES, M.; MOLLER, P.; PRENTICE, M. Antarctic glacial history since the Last Glacial Maximum: an overview of the record on land. **Antarctic Science**, Cambridge, v.10, p. 326–344, 1998.

INGÓLFSSON, Ó. Late Quaternary of Antarctica. **Encyclopedia of Quaternary Science**, p. 216–223. 2013.

INGÓLFSSON, Ó. Late Quaternary Glaciation of Antarctica. **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**. 2014.

JOHN, B.S.; SUGDEN, D.E. Raised Marine Features and Phases of Glaciation in the South Shetland Islands. **British Antarctic Survey Bulletin**, Cambridge, v. 24, p. 45-111, 1971.

JOHN, B.S. Evidence from the South Shetland Islands towards a glacial history of West Antarctic. In: SUGDEN, D.E.; PRICE, R.J. (Eds.). **Polar Geomorphology**. London: Institute of British Geographers, 1972, p. 75–92.

KEJNA, M.; ARAZNY, A.; SOBOTA, I. Climatic change on King George Island in the years 1948 – 2011. **Polish Polar Research**, Warsaw, v. 34, n. 2, p. 213-235, 2013.

KIDSTON, J.; RENWICK, J.A.; MCGREGOR, J. Hemispheric scale seasonality of the southern annular mode and impacts on the climate of New Zealand. **Journal of Climate**, New York, v. 22, p. 4759–4770, 2009.

KOCH, J.; KILIAN, R. ‘Little Ice Age’ glacier fluctuations, Gran Campo Nevado, Southernmost Chile. **The Holocene**, United Kingdom, v.15, p. 20–28, 2005.

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.

LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; THOMSON, M.R.A.; ARCHE, A.; BJÖRCK, S.; ELLIS-EVANS, J.C.; HATHWAY, B.; HERNÁNDEZ-CIFUENTES, F.; HJORT, C.; INGOLFSSON, O.; ISING, J.; LOMAS, S.; MARTÍNEZ DE PISON, E.; SERRANO, E.; ZALE, R.; KING, S. Geomorphological Map of Byers Peninsula, Livingston Island. BAS GEOMAP Series, Sheet 5-A, 1:25,000, with supplementary text. **British Antarctic Survey**, Cambridge, 65 p. 1996.

LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; SCHMID, T.; SERRANO, E.; MINK, S. NIETO, A. GUILASSO, S. Geomorphology and surface landforms distribution in selected ice-free areas in the South Shetland Islands, Northern Antarctic Peninsula Region. **Cuadernos de Investigaciones Geográficas**, Espanha, v. 2, n. 42, p. 435-455, 2016.

LORREY, A.; WILLIAMS, P.; SALINGER, J.; MARTIN, T.; PALMER, J.; FOWLER, A.; ZHAO, J.; NEIL, H. Speleothem stable isotope records interpreted within a multi-proxy framework and implications for New Zealand paleoclimate reconstruction. **Quaternary International**, Beijing, China, v. 87, p. 52–75, 2008.

MACKINTOSH, A.N.; ANDERSON, B.M.; PIERREHUMBERT, R.T. Reconstructing Climate from Glaciers. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 45, n. 1, p. 649–680, 2016.

MARTINELLI, M. **Mapas da Geografia e Cartografia temática**. 6 ed. Editora Contexto: 2003, 144 p.

MARTINEZ-MACCHIAVELLO J.C.; TATUR, A.; SERVANT-VILDARY S.; DEL VALLE, R. Holocene environmental change in a marine–estuarine–lacustrine sediment sequence, King George Island, South Shetland Islands. **Antarctic Science**, Cambridge, n. 8, p. 313–322, 1996.

MATSUOKA, K.; SKOGLUND, A.; ROTH G. 2018. Quantarctica [Dataset]. Norwegian Polar Insitute.

MATSUOKA, K.; SKOGLUND, A.; ROTH, G.; DE POMEREU, J.; GRIFFITHS, H.; HEADLAND, R.; HERRIED, B.; KATSUMATA, K.; BROCCQ A.; LICHT, K;

MORGAN, F.; NEFF P.D.; RITZ, C.; SCHEINERT M.; TAMURA, T.; VAN DE PUTTE, A.; BROEKE, M.; DESCHWANDEM A.; DESCHAMPS-BERGER, C.; LIEFFERINGE, B.; TRONSTAD, S.; MELVÆR, Y. Quantarctica, an integrated mapping environment for Antarctica, the Southern Ocean, and sub-Antarctic islands. **Environmental Modelling & Software**, v.140, 105015, 2021.

MÄUSBACHER, R.; MÜLLER, J.; MUNNICH, M.; SCHMIDT, R. Evolution of postglacial sedimentation in Antarctic lakes (King George Island). **Zeitschrift für Geomorphologie**, Germany, v. 33, p. 219-234, 1989.

MÄUSBACHER, R. Die Jungkvartäre Relief- und Klimageschichte im Bereich der *Fildeshalbinsel*, Süd-Shetland-Inseln, Antarktis. **Heidelberger Geographische Arbeiten**, Germany, v. 89, 207p. 1991.

MAYEWSKI, P.A.; MAASCH, K.A.; WHITE, J.W.C.; STEIG, E.J.; MEYERSON, E.; GOODWIN, I.; MORGAN, V.I.; VAN OMMEN, T.; CURRAN, M.A.J.; SOUNEY, J.; KREUTZ, K. A 700-year record of Southern Hemisphere extratropical climate variability. **Annals of Glaciology**, Cambridge, 39, 127–132, 2004.

MILLIKEN, K.T.; ANDERSON, J.B.; WELLNER, J.S.; BOHATY, S.M.; MANLEY, P.L. High resolution Holocene climate record from *Maxwell Bay*, South Shetland Islands, Antarctic. **Geological Society of American Bulletin**, USA, v. 121, p. 1711-1725, 2009.

MORGAN, V.I. An oxygen isotope-climate record from Law Dome, Antarctic. **Climatic Change**, USA, v. 7, n. 4, p. 415-426, 1985.

MOSLEY-THOMPSON, E.; THOMPSON, L.; GROOTES, P.; GUNDESTRUP, N. Little Ice Age (Neoglacial) paleoenvironmental conditions at Siple Station, Antarctic. **Annals of Glaciology**, Cambridge, v. 14, p. 199-204, 1990.

MOY, C.M.; MORENO, P.; DUNBAR, R.B.; KAPLAN, M.R.; FRANÇOIS, J.P.; VILLALBA, R.; HABERZETTL, T. Climate Change in Southern South America During the Last Two Millennia. In: VIMEUX, F.; SYLVESTRE, F.; KHODRI, M. (Eds.), **Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions**. USA: Developments in Paleoenvironmental Research, Springer Science, 2009, p. 353-393.

MULVANEY, R.; ABRAM, N.J.; HINDMARSH, R.C.A. ARROWSMITH, C.; FLEET, L.; TRIEST, J.; SIME, L.C.; ALEMANY, O.; FOORD, S. Recent Antarctic Peninsula warming relative to Holocene climate and ice-shelf history. **Nature**, London, v. 489, p.141-144, 2012a.

Ó COFAIGH, C.; DAVIES, B.J.; LIVINGSTONE, S.J.; SMITH, J.A.; JOHNSON, J.S. HOCKING, E.P.; HODGSON, D.A.; ANDERSON, J.B. BENTLEY, M.J.; CANALS, M. DOMACK, E.; DOWDESWELL, J.A.; EVANS, J.; GLASSER, N.F.; HILLENBRAND, C.; LARTER, R.D.; ROBERTS, S.J.; SIMMS, A.R. Reconstruction of ice-sheet changes in the Antarctic Peninsula since the Last Glacial Maximum. **Quaternary Science Review**, Montreal, v. 100, p. 87-110, 2014.

OLIVA, M.; ANTONIADES, D.; GIRALT, S.; GRANADOS, I.; PLA-RABES, S.; TORO, M.; SANJURJO, J.; LIU, E. J.; VIEIRA, G. The Holocene deglaciation of

the Byers Peninsula (Livingston Island, Antarctic) based on the dating of lake sedimentary records. **Geomorphology**, Selbustrand, Norway, v. 261, p. 89–102, 2016.

OLIVA, M.; RUIZ-FERNANDEZ, J. (Eds.). **Past Antarctic**: Paleoclimatology and Climate Change. London: Academic Press, 2020. 297 p.

OLIVEIRA, A.; CLAUZET, G.; WAINER, I. Estudo comparativo de simulações paleoclimáticas na região do Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos-SP, v. 22, n.1, p. 21–37, 2007.

PALACIO, D.Q.A.; PINTO, A.G.A.; ROCHA, P.G.L.; SOARES, S.L.; RABELO, I.S.R.; ARANHA, A.C.M. Aspectos relacionados à saúde do jovem escolar: uma revisão. **REAS**, v. 3, n. 4, 2021.

PALACIOS, D.; RUIZ-FERNÁNDEZ, J.; OLIVA, M.; ANDRÉS, N.; FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, J.M.; SCHIMMELPFENNIG, I.; LEANNI, L.; GONZÁLEZ-DÍAZ, B. Timing of formation of neoglacial landforms in the South Shetland Islands (Antarctic Peninsula): Regional and global implications. **Quaternary Science Reviews**, v. 234, p. 106248. 2020.

PUDEŁKO, R.; ANGIEL, P.; POTOCKI, M.; JĘDREJEK, A.; KOZAK, M. Fluctuation of Glacial Retreat Rates in the Eastern Part of Warszawa Icefield, King George Island, Antarctic, 1979–2018. **Remote Sensing**, Switzerland, v. 10, n. 6, 892, 2018.

RABASSA, J. Stratigraphy of the glacial deposits in northern James Ross Island, Antarctic Peninsula. In: EVENSON, E.; SCLUCHTER, C.; RABASSA, J. (Eds.). **Tills and Related Deposits**. Rotterdam: A. A. Balkema Publishers, 1983, p. 329–340.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay. **Polish Academy of Sciences**, Warsaw, v. 16, p. 27-30. 1993.

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**, Brasília-DF, v. 14, p. 181-187, 2013.

RUDDIMAN, W.F. **Earth's Climate**. New York: W.F. Freeman and Company, 2009, 465 p.

SEONG, Y.B.; LIM, H.S.; YOON, H.I.; LEE, Y.I.; KIM, Y.; OWEN, L.A., A preliminary geomorphic overview of Late Quaternary glacier fluctuations in the South Shetland Islands, West Antarctic. **Journal of the Korean Geographical Society**, South Korea, v. 41, p. 513-526, 2006.

SEONG, Y.B.; OWEN, L.A.; LIM, H.S.; YOON, H.I.; KIM, Y.; LEE, Y.I.; CAFFEE, M.W. Rate of late Quaternary icecap thinning on King George Island, South Shetland Islands, West Antarctic defined by cosmogenic ³⁶Cl surface exposure dating. **Boreas**, Dinamarca, v. 38, p.207-213, 2009.

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: Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra - NEPUT, 2004, p. 1–13.

SIMKINS, L.M. **Antarctic raised beaches: Insight on geochronology, relative sea level, and coastal processes.** 165 p. Doctoral thesis. California. University of California. 2014.

SIMMS, A.R.; MILLIKEN, K.T.; ANDERSON, J.B.; WELLNER, J.S. The marine record of deglaciation of the South Shetland Islands, Antarctic since the Last Glacial Maximum. **Quaternary Science Review**, Montreal, v. 30, p.1583-1601, 2011.

SIMMS, A.R.; IVINS, E.R.; DEWITT, R.; KOUREMENOS, P.; SIMKINS, L.M. Timing of the most recent Neoglacial advance and retreat in the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula: insights from raised beaches and Holocene uplift rates. **Quaternary Science Reviews**, Montreal, v. 47, p. 41–55, 2012.

SIMMS, A.R.; BENTLEY, M.; SIMKINS, L.; ZURBUCHEN, J.; REYNOLDS, L.; DEWITT, R.; THOMAS, E. Evidence for a “Little Ice Age” glacial advance within the Antarctic Peninsula e Examples from glacially overrun raised beaches. **Quaternary Science Review**, Montreal, v. 271, 2021.

STERKEN, M.; ROBERTS, S.J.; HODGSON, D.A.; VYVERMAN, W.; BALBO, A.L.; SABBE, K.; MORETON, S.; VERLEYEN, E. Holocene glacial and climate history of Prince Gustav Channel, northeastern Antarctic Peninsula. **Quaternary Science Reviews**, v. 31, p. 93–111. 2012.

SUGDEN, D.E.; JOHN, B.S. The ages of glacier fluctuations in the South Shetland Islands, Antarctic. In: VAN ZINDEREN BAKKER, E. M. (Ed.). **Palaeoecology of Africa, the Surrounding Islands and Antarctic.** Cape Town: Balkema, 1973, p.141–159.

SUGDEN, D.E.; CLAPPERTON, C.M. West Antarctic Ice Sheet fluctuations in the Antarctic Peninsula area. **Nature**, London, v. 286, p. 378–381, 1980.

TOKARSKI, A.K. Structural events in the south *Shetlands* islands (Antarctica). III. Barton Horst, King George Island. **Studia Geologica Polonica**, v. 90, p. 7-38. 1987.

TURNER, J.; MARSHALL, G.J.; CLEM, K.; COLWELL, S.; PHILLIPS, T.; LU, H. Antarctic temperature variability and change from station data. **International Journal of Climatology**, Czech Republic, v. 40, p. 2986–3007, 2020.

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**, Cambridge, v. 28, p. 475–486, 2016.

YAN, Y.; MAYEWSKI, P.A.; KANG, S.; MEYERSON, E. An ice-core proxy for Antarctic circumpolar zonal wind intensity. **Annals of Glaciology**, Cambridge, 41, 121–130, 2005.

YOON, H.H.; PARK, B.K.; KIM, Y.; KIM, D. Glaciomarine sedimentation and its paleoceanographic implications along the fiord margins in the South Shetland Islands, Antarctic during the last 6000 years. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, USA, v. 157, p. 189-211, 2000.

ZALE, R.; KARLÉN, W. Lake sediment cores from the Antarctic Peninsula and surrounding islands. **Geografiska Annaler**, Sweden, v. 71, p. 211–220. 1989.