

Padrões morfológicos das geleiras da ilha Brabant, Antártica

Siclério AHLERT & Jefferson Cardia SIMÕES

Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500. Caixa Postal 15044, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: siclerioahlert@yahoo.com.br; jefferson.simoies@ufrgs.br

Recebido em 07/2007. Aceito para publicação em 07/2008.

Resumo - A morfologia e a variação frontal das geleiras do campo de gelo da ilha Brabant, oeste da Península Antártica, foi estudada com o uso de imagens de satélite, estas obtidas pelos satélites LANDSAT 5 e 7 em 1989 e 2001. A metodologia do trabalho está baseada na interpretação integrada de diferentes dados e mapeamentos dos fatores controladores da dinâmica e morfologia dos limites das bacias de drenagem glacial, usando um sistema de informação geográfica. Setenta e seis bacias de drenagem glacial foram identificadas no campo de gelo que recobre a ilha, determinadas pelo controle estrutural do embasamento, responsável pelas diferenças morfológicas existentes entre as bacias glaciais do setor oeste e leste, que são realçadas pelas condições climáticas e oceanográficas encontradas nos dois setores da costa. A variação glacial é basicamente controlada pela topografia e secundariamente, pelas condições climáticas. A área da ilha em 1989 era de 916 km², sendo que 98,5% estavam recoberta por gelo. No período compreendido entre 1989 e 2001, 23 geleiras apresentaram variação na sua porção frontal, onde 18 apresentaram retração e 5 avançaram. O balanço dessas variações resultou numa perda de 2,7 km² na área da ilha.

Palavras-chave: glaciologia, ilha Brabant, sensoriamento remoto.

Abstract - MORPHOLOGICAL PATTERNS OF BRABANT ISLAND GLACIERS, ANTARCTICA. The morphology and variation of glacier fronts on the Brabant Island icefield, West Antarctic Peninsula, were studied by employing LANDSAT 5 and 7 images, from 1989 and 2001. This work was based on an integrated interpretation of the different data sets and mapping of the controlling dynamics and morphological factors determining the glacial drainage basin limits and employing a geographic information system. Boosted by predominating climatic and oceanographic conditions, the island was divided in two sectors - Western coast and Eastern coast. The morphological differences among the glacial drainages are determined by the subglacial bedrock structural control. Seventy six drainage basins were identified for the icefield that covers the island. The glacial variation is primarily controlled by the topography and secondarily by climatic conditions. In 1989, the area of the island was 916 km², of which 98.5% was ice covered. Between 1989 and 2001, 23 glaciers showed variation in their glacial termini, 18 of which retreated and 5 advanced. The balance of these variations resulted in a loss of 2.7 km² in the island's area.

Keywords: glaciology, Brabant Island, remote sensing.

1. Introdução

As técnicas de sensoriamento remoto são empregadas com frequência para o estudo de ambientes glaciais, principalmente devido às dificuldades logísticas e operacionais, à agressividade do ambiente polar e à grande área das calotas e mantos de gelo (Bamber & Kwok, 2004).

O uso dessa técnica na Antártica permite monitorar, com grande precisão, a dinâmica do gelo marinho, a variação da extensão frontal de geleiras e a estabilidade das plataformas de gelo. No entanto, o uso de sensores ópticos limita a obtenção de dados para o período próximo do solstício de verão do hemisfério sul, em função do baixo ângulo solar ou mesmo a total ausência da

radiação do Sol durante grande parte do ano, dependendo da latitude. Esse fator requer o uso de outras formas de sensoriamento remoto, como o emprego de sensores ativos, especificamente o RADAR, e, mais recentemente, o LASER. Os sensores ativos, além de não dependerem da luminosidade solar, provêm dados independentemente das condições de nebulosidade, um aspecto importante para o entorno da Antártica, que é uma das regiões de maior cobertura de nuvens do planeta (King & Turner, 1997; Bamber & Kwok, 2004).

O emprego das diferentes técnicas de sensoriamento nas regiões polares é determinado pelos objetivos do estudo. Para o acompanhamento do ciclo anual do gelo marinho, requer-se o uso do RADAR, haja vista a necessidade de obtenção de dados durante o ano todo. Para monitorar a extensão frontal de geleiras e a análise da sua morfologia, tem-se empregado imagens satelitais ópticas de diferentes sensores, ou mesmo o uso de fotografias aéreas de alta resolução.

O acompanhamento das variações na extensão frontal das geleiras é uma das formas de analisar a resposta glacial frente às condições ambientais (especialmente climáticas), dada a tendência de aquecimento atmosférico já constatado na região da Península Antártica (da ordem de 2,5°C na última metade do século XX) por diversos autores como Skvarca *et al.* (1998), Vaughan *et al.* (2003), Ferron *et al.* (2004) e King (1994). No entanto, a variação frontal de uma geleira não serve como indicativo definitivo para conclusões sobre associação entre o aquecimento atmosférico/oceânico e a retração glacial, considerando que a dinâmica glacial depende de inúmeros fatores, como o acúmulo de neve pretérita e outros condicionantes físicos das geleiras (e.g., condições termais do gelo).

Além do aquecimento atmosférico, também se observa tendência de aumento na temperatura das águas oceânicas do hemisfério sul, notadamente na área da corrente circumpolar Antártica (Gille, 2002) e diminuição na extensão do gelo marinho no entorno da Península Antártica, bem como uma redução do período de ocorrência do mesmo no setor oeste dessa região (Parkinson, 2002).

O contexto do emprego de sensoriamento remoto para ambientes glaciais polares e os aspectos ambientais contextualizam regionalmente o presente estudo.

Este trabalho pretende estabelecer a

delimitação das bacias de drenagem glacial e investigar variações na extensão frontal das geleiras da ilha Brabant, arquipélago Palmer, a partir de imagens de satélite datadas de 1989 e 2001. Pretende, também, realizar uma caracterização morfológica das bacias glaciais a partir dos dados de sensoriamento remoto e determinar a altitude da linha de neve transiente, buscando uma possível associação entre as variáveis ambientais e o padrão morfológico das geleiras. Secundariamente, o trabalho visa estabelecer relações entre o padrão morfológico das geleiras e a resposta das mesmas em termos de variação na extensão frontal, diante do quadro climático na região.

2. Área de estudo e caracterização geográfica

A ilha Brabant (916 km²) integra o arquipélago Palmer, e está localizada no quadrante 64°00'S - 62°00'W e 64°35'S - 62°45'W, no setor oeste da Península Antártica, separada desta pelo estreito de Gerlache. Na figura 1 é apresentada a localização da península (Fig. 1A), incluindo a ilha Brabant (Fig. 1B).

O Monte Parry, com mais de 2500 m de altitude, é o ponto culminante da ilha, cuja topografia é bastante irregular, com alta declividade, especialmente no setor oeste (Fig. 2A). A geologia da ilha é constituída por quatro formações, numa sucessão vulcano-sedimentar, apresentando grandes complexos de falhas em diversas direções. A sucessão das formações evoluiu desde o Triássico até o Terciário (Alarcon *et al.*, 1976).

O clima da ilha Brabant é determinado pela ação dos ciclones vindos do mar de Bellingshausen, estando esta, localizada entre as isoterms -1 e -2°C. Apesar de não existirem dados de precipitação para a ilha, esta deve ser elevada para os padrões da Antártica. Na região da península os valores chegam próximos a 2000 mm anuais, com forte ação orográfica (King & Turner, 1997). A ilha Brabant, por proximidade geográfica e aspectos topográficos semelhantes à Península Antártica, provavelmente apresenta valores próximos aos acima mencionados. Com uma significativa precipitação, o volume de massa glacial acumulado anualmente age diretamente sobre as condições de fluxo das geleiras da ilha.

O sistema de circulação oceânica superficial no entorno da ilha Brabant é controlado pela corrente do estreito de Gerlache a leste, que, por

receber o aporte de águas frias do degelo das geleiras da área, apresentam temperaturas menores. No setor oeste, a circulação está associada ao estreito de Bransfield, ao mar de Bellingshausen e com o sul da passagem de Drake (Garcia *et al.*, 2002; Zhou *et al.*, 2002). Os aspectos oceanográficos (e.g. variação da maré, gelo marinho) são relevantes para o comportamento frontal de geleiras que sofrem a ação oceânica, como as geleiras de maré.

projeção cartográfica (Cônica Conforme de Lambert), possibilitando a análise em um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Os dados altimétricos da ADD foram interpolados através do modelo TIN (*Triangular Irregular Network*), gerando-se um modelo numérico do terreno (MNT) que, juntamente com a interpretação visual das duas imagens satelitais, possibilitaram a delimitação das bacias de drenagem glacial, conforme métodos já empregados por Simões *et al.* (1999), para a ilha Rei George. A delimitação das frentes das geleiras a partir das duas imagens georreferenciadas permitiu analisar a dinâmica frontal das geleiras ao longo de 12 anos. Simões *et al.* (1999) desenvolveram um método comparando dados multitemporais para analisar a variação na extensão frontal de geleiras e utilizaram a interpretação visual de imagens de satélite para determinar a linha de neve e a delimitação de bacias glaciais.

A interpretação morfológica das geleiras foi baseada no método desenvolvido por Rau *et al.* (2004). Esse método é constituído pela análise de oito parâmetros principais, que permite sistematizar as características de uma geleira em termos de sua classificação primária (manto, campo de gelo, etc.), sua forma, as características frontais e longitudinais, o tipo de cobertura superficial, além de aspectos da dinâmica glacial, como a origem da massa glacial, a variação das frentes das geleiras e a presença de morainas (atuais e pretéritas), tendo como base principal, informações de sensoriamento remoto. Todas as caracterizações morfológicas das bacias foram integradas ao banco de dados do SIG, permitindo correlacionar as diferentes características morfológicas das geleiras com as eventuais variações na extensão frontal das mesmas.

As delimitações das bacias de drenagem e da altitude da linha de neve transiente foram baseadas na interpretação visual das imagens de satélite, juntamente com o modelo numérico do terreno. A escala cartográfica utilizada para essas definições foi de 1:50.000, condição limítrofe de interpretação para os dados utilizados. As análises foram complementadas com o apoio de diferentes tipos de informações resgatadas de fontes bibliográficas, com destaque para levantamentos geológicos, aspectos glaciológicos e condições climáticas e oceanográficas da região.

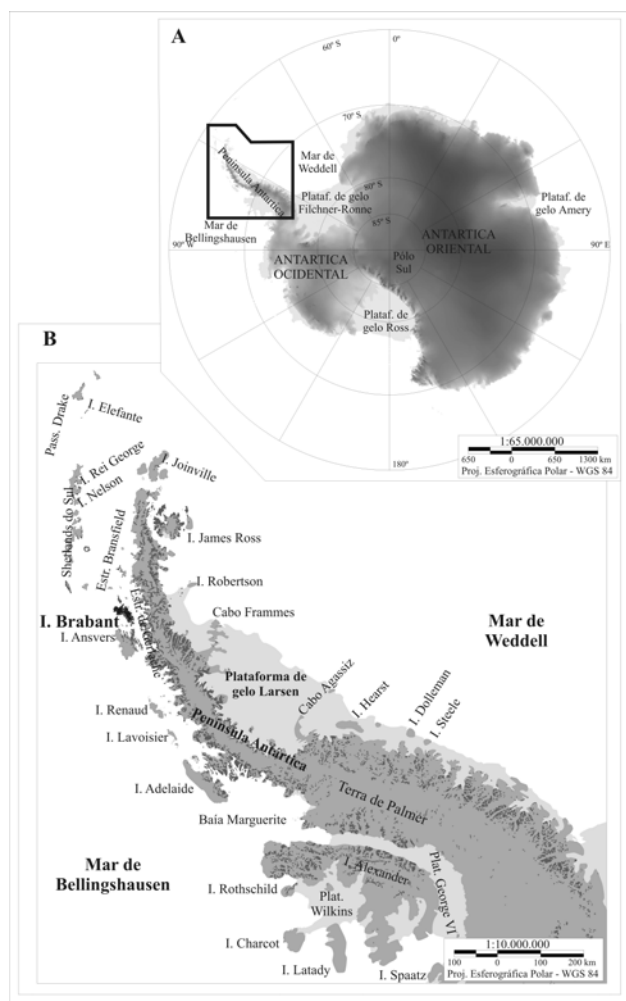


Figura 1. Mapa de localização da Península Antártica (1A) e da Ilha Brabant (1B). Todos os topônimos usados estão localizados nesses dois mapas.

3. Métodos

O estudo utilizou a base cartográfica da *Antarctic Digital Database (ADD)*, elaborada pelo *British Antarctic Survey (BAS)* e duas imagens dos satélites LANDSAT 5 e 7, sensor TM e ETM+, de 26 de novembro de 1989 e 21 de fevereiro de 2001, respectivamente. Todas as fontes de dados foram co-registradas e convertidas para a mesma

4. Resultados e discussão

A delimitação das bacias glaciais permitiu estabelecer os limites de setenta e seis bacias, conforme é apresentado na figura 2A. Verificou-se que o padrão de drenagem das bacias é controlado estruturalmente, definido pelas linhas de falhamento e pela topografia do substrato, o que permitiu caracterizar a cobertura glacial da ilha como um *campo de gelo* (senso Simões, 2004). Em função disso, observou-se que a geometria das bacias glaciais é bastante variada, predominando bacias grandes nos setores norte e leste, com áreas superiores a 15 km², ao passo que, no setor sul e oeste, predominam bacias pequenas com padrão morfológico diferenciado.

A área da ilha, em 1989, era de 916 km², dos quais a massa glacial ocupava 903 km², ou seja, 98,5%. As poucas áreas livres de gelo encontram-se ao longo da linha da costa, em algumas proeminências e em alguns *nunataks* (senso Simões, 2004), dispersos em diferentes setores da ilha. Entre 1989 e 2001, a ilha apresentou retração em dezoito geleiras, com uma diminuição na área de 3,3 km². Simultaneamente, ocorreu pequeno avanço frontal em cinco geleiras, somando 0,6 km². Nesse balanço de massa glacial areal, a ilha apresentou uma diminuição de 2,7 km² na cobertura de gelo.

A maior área de retração está concentrada no setor oeste da ilha, onde a frente da geleira Rush recuou 1200 m ao longo de uma faixa de 1500 m de largura, totalizando uma perda de 1,4 km² durante o período analisado. Outras geleiras sem topônimos, localizadas na costa oeste apresentaram recuos expressivos, conforme pode ser observado na figura 2B. As geleiras que apresentaram recuos mais significativos são aquelas classificadas morfológicamente como “geleiras de maré”, cuja característica fundamental é o contato direto da frente com o mar.

A altitude da linha de neve transiente (senso Simões, 2004) é um elemento indicativo das condições de balanço de massa de uma geleira. Na ilha Brabant, esta ocorre em níveis altimétricos diferentes nos lados oeste e leste, apresentando significativa variação de uma geleira para outra. No setor oeste, a mesma ultrapassa os 1250 m nos locais onde sua delimitação foi possível, ao passo que no setor leste, a altura média se encontra em torno dos 250 m. Os fatores determinantes para essa diferença estão, provavelmente, relacionados com o padrão topográfico diferenciado entre os dois

setores, na medida em que o setor oeste apresenta declividade maior, com cascatas de gelo, não permitindo o acúmulo de neve. Além desses fatores topográficos, a ocorrência de áreas de sombra limita a interpretação da linha de neve nesse setor da ilha. O fator climático também influencia nessa diferenciação, estando o setor leste mais protegido das massas de ar úmido e quente, vindas do mar de Bellingshausen. O contexto oceanográfico do estreito de Gerlache, com águas mais frias, também contribui nos fatores de diferenciação da altura da linha de neve. A figura 2b apresenta, também, a linha de neve delimitada com as curvas de nível.

As condições ambientais regionais fazem com que as geleiras da ilha se encontrem próximas ao ponto de fusão sob pressão (ou seja, 0°C na superfície). Essa condição é comprovada pela grande carga de sedimentos (pluma) encontrada nas águas próximas às áreas de descarga das geleiras. A presença de pluma sedimentar é indício da alta atividade erosiva das geleiras, um indício da provável presença de água no limite rocha-gelo (Sugden & John, 1991).

A declividade é fator determinante na morfologia glacial local. No setor oeste, a declividade supera 45% na maioria das geleiras, ainda marcadas por fortes rupturas no perfil do terreno, e extensão longitudinal próxima dos 5 km. Na costa leste, a extensão longitudinal das geleiras é maior, entre 11 e 15 km de comprimento, e conseqüentemente, a declividade média é menor. Os valores da declividade interferem na dinâmica da massa glacial, fazendo com que as mesmas tenham um fluxo rápido e turbulento, gerando muitas fendas ao longo do perfil longitudinal da geleira, o que pode ser detectado facilmente nas imagens satelitais utilizadas. A grande declividade incrementa o potencial erosivo.

O padrão morfológico das geleiras da ilha é variado. Em termos de classificação primária, o conjunto é caracterizado como um campo de gelo. De forma individualizada, predomina as geleiras de vale, a maioria delas correspondendo a bacias compostas (duas ou mais bacias de acumulação que drenam para uma única geleira) com algumas geleiras de anfiteatro no setor oeste. Em termos de características frontais, a maior parte das geleiras é de desprendimento (termina ao entrar em contato com o mar, perdendo massa pelo desprendimento de grunhões e *icebergs*), e algumas geleiras de maré, cuja característica é ter sua parte frontal flutuante sobre o oceano. Foram

as geleiras de maré que apresentaram as maiores tendências de recuo durante o período analisado.

O perfil longitudinal das geleiras é cascateado, com fendas e degraus, em decorrência da topografia. A origem da massa glacial de

todas as geleiras é a mesma, ocorrendo através da precipitação nival. A presença de morainas não pode ser analisada, em função da limitação da resolução espacial dos dados utilizados.

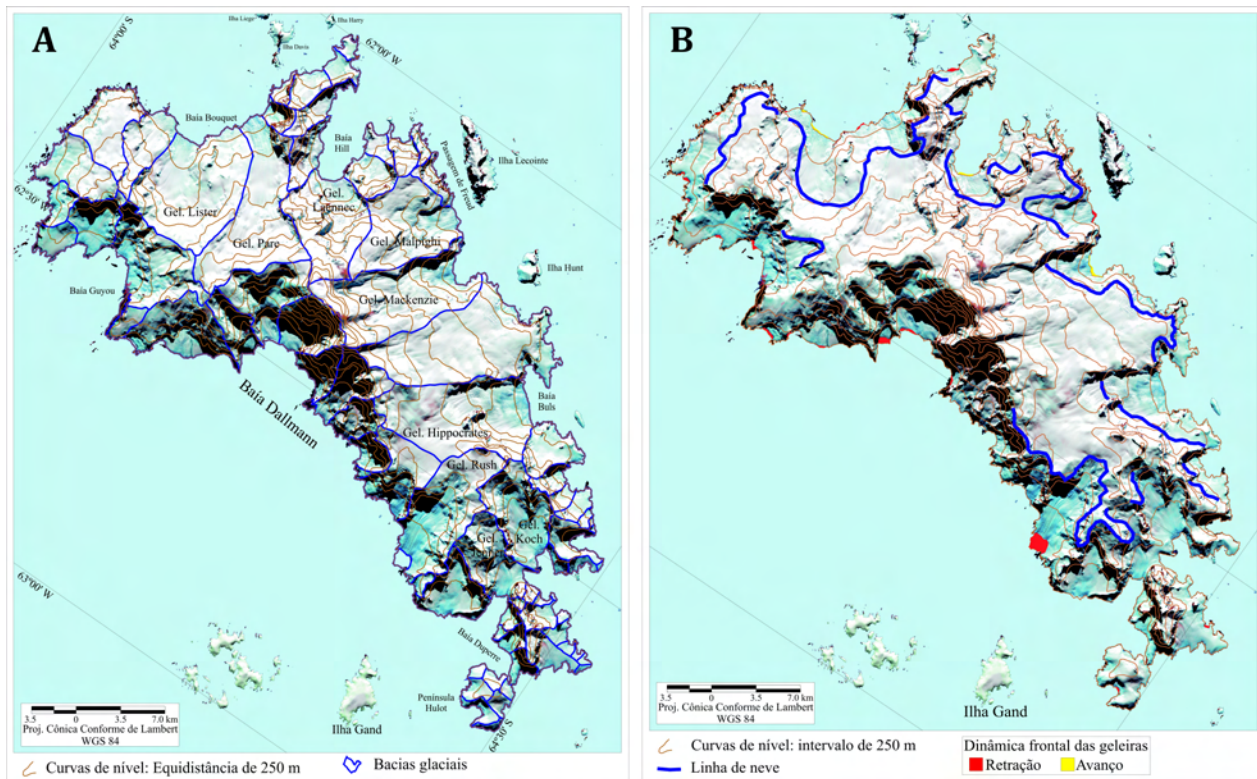


Figura 2. Mapa das bacias de drenagem glacial da ilha Brabant (2A) e Mapa com a delimitação da linha de neve transiente e de variação na extensão frontal das geleiras da Ilha Brabant no período 1989-2001 (2B).

5. Conclusões

Os limites das setenta e seis bacias de drenagem glacial da ilha Brabant são determinados pelo substrato topográfico e pelas linhas de falhamento geológico, o que caracteriza a cobertura glacial da ilha como um campo de gelo.

As características topográficas e morfológicas diferenciadas entre os setores leste e oeste da ilha determinam diferenças em sua dinâmica glacial. No lado oeste, a altura média da linha de neve transiente é de 1250 m, decorrência principal da alta declividade que não permite o acúmulo significativo de neve. No setor leste, a altura média é de 250 m. As condições oceanográficas definidas por correntes mais frias no setor leste (Estreito de Gerlache) e fatores climáticos, diferenciados pelo aporte de massas de ar mais quentes e úmidas vindas do mar de Bellingshausen, incrementam a diferenciação nos dois setores da costa.

O controle estrutural e o substrato irregular determinam a variedade das formas morfológicas das bacias, porém com predomínio de geleiras de vale compostas ou de anfiteatro, cascateadas ao longo do perfil central.

A variação na extensão das geleiras no período de 12 anos (1989-2001) apresenta tendência de retração. As dezoito áreas de retração representam 3,3 km² de perda de área glacial, enquanto as cinco áreas onde foi registrado o avanço frontal das geleiras somam 0,6 km². O balanço na extensão frontal das geleiras representa uma perda de 2,7 km² na área da ilha, durante o período 1989-2001. Essa tendência de retração, especialmente nas geleiras de maré, pode ser decorrência do leve aquecimento das águas oceânicas e da mudança no padrão de ocorrência do gelo marinho, associado ao aquecimento atmosférico constatado na região.

Referências

- Alarcon, B., Ambrus, J., Olcay, L. & Vieira, C. 1976. Geologia Del Estrecho de Gerlache entre los paralelos 64 y 65 lat. Sur, Antartica Chilena. *Série Científica Instituto Antártico Chileno*, 4(1): 7-51.
- Bamber, J. L. & Kwok, R. 2004. Remote-sensing techniques. In: Bamber, J.L. & Payne, A. J. (Ed.). 2004. *Mass Balance of the Cryosphere: Observations and Modelling of Contemporary and Future Changes*. Cambridge, Cambridge University Press, p. 59-113.
- Ferron, F.A., Simões, J.C., Aquino, F.E. & Setzer, A.W. 2004. Air temperature time series for King George Island, Antarctica. *Pesquisa Antártica Brasileira*, 4: 155-169.
- Garcia, M.A., Castro, C.G., Rios, A.F., Doval, M.D., Rosón, G., Gomis, D. & López, O. 2002. Water masses and distribution of physico-chemical properties in the Western Bransfield Strait and Gerlache Strait during Austral summer 1995/96. *Deep-Sea Research II*, 49: 585-602.
- Gille, S.T. 2002. Warming of the Southern Ocean since the 1950s. *Science*, 295: 1275-1277.
- King, J.C. 1994. Recent climate variability in the vicinity of the Antarctic Peninsula. *International Journal of Climatology*, 14: 357-369.
- King, J.C. & Turner, J. 1997. *Antarctic Meteorology and Climatology*. Cambridge, Cambridge University Press, 409 p.
- Parkinson, C.L. 2002. Trends in the length of the Southern Ocean sea-ice season, 1979-99. *Annals of Glaciology*, 34: 435-440.
- Rau, F., Mauz, F., Vogt, S., Khalsa, S. J. S. & Raup, B. 2004. *Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual Glacier Classification Guidance for the GLIMS Glacier Inventory*. GLIMS Regional Center 'Antarctic Peninsula'. Alemanha, Institut für Physische Geographie, Freiburg, 36 p.
- Simões, J.C. 2004. Glossário da língua portuguesa da neve, do gelo e termos correlatos. *Pesquisa Antártica Brasileira*, 4: 119-154.
- Simões, J.C., Bremer, U.F., Aquino, F.A. & Ferron, F.A. 1999. Morphology and variations of glacial drainage basins in the King George Island ice field, Antarctica. *Annals of Glaciology*, 29: 220-224.
- Skvarca, P., Rack, W., Rott, H. & Donángelo, T.I. 1998. Evidence of recent climate warming on the eastern Antarctic Peninsula. *Annals of Glaciology*, 21: 291-296.
- Sugden, D.E. & John, B.S. 1991. *Glaciers and Landscape: a geomorphological approach*. Londres, Edward Arnold, 376 p.
- Vaughan, D.G., Marshall, G.J., Connolley, W.M., Parkinson, C., Mulvaney, R., Hodgson, D.A., King, J.C., Pudsey, C.J. & Turner, J. 2003. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. *Climate Change*, 60: 243-274.
- Zhou, M., Niiler, P.P. & Hu, J.H. 2002. Surface currents in the Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica. *Deep-Sea Research I*, 49: 267-280.