

SÉRIE TEMPORAL DE TEMPERATURA ATMOSFÉRICA PARA A ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA

Francisco Adolfo Ferron*, Jefferson Cardia Simões**,***
e Francisco Eliseu Aquino***

Resumo: Este trabalho analisa série temporal de temperatura atmosférica para a ilha Rei George (IRG) no período 1947-95, construída a partir das médias mensais registradas em várias estações meteorológicas. Os resultados indicam tendência de aquecimento de $0,022^{\circ}\text{C a}^{-1}$ representando um aumento total de $1,08^{\circ}\text{C}$, causada principalmente pelo aumento da temperatura nos meses de inverno. O registro apresenta ciclicidades de 5,3 e 9,6 anos, semelhantes àquelas registradas na península Antártica. No período 1976-95, a série temporal é comparada com dados de extensão do gelo marinho na longitude 60°W , o qual responde às variações de temperatura com retardo de um mês.

Palavras-chave: Climatologia; Mudanças ambientais; Antártica; Ilha Rei George

Introdução

A ilha Rei George (IRG) situa-se entre as coordenadas $61^{\circ}50'$ - $62^{\circ}15'S$ e $57^{\circ}30'$ - $59^{\circ}00'W$, no setor oeste da península Antártica (Fig. 1). Seu clima é determinado pela passagem de sucessivos sistemas ciclônicos, transportando ar aquecido e úmido, fortes ventos e grande volume de precipitação (BINTANJA, 1995). As características são típicas de um clima marítimo, com pequena variação na temperatura atmosférica durante o ano, alta umidade relativa do ar e grande cobertura de nuvens (RAKUSA-SUSZCZEWSKI *et al.*, 1993; WEN *et al.*, 1994). Segundo BARSCH *et al.* (1985), o clima pode ser classificado como polar oceânico do hemisfério sul (Etf, de acordo com a classificação de Köppen).

Ao longo dos últimos cinquenta anos, a tendência de

aquecimento na região oeste da península Antártica, especialmente entre as latitudes 65° e 70°S , mostrou-se mais acentuada do que no resto do continente (aproximadamente 2°C) (KING & HARANGOZO, 1998). SMITH *et al.* (1996) demonstram que essa tendência é mais acentuada no inverno e que nessa região existe uma anticorrelação entre a temperatura atmosférica e a extensão do gelo marinho.

Neste trabalho, analisamos o registro de temperaturas mais extenso já obtido para a IRG. Os resultados poderão ser úteis, por exemplo, para comparação com dados climáticos derivados de estudos de testemunhos de gelo ou para quantificação do aquecimento regional. As regiões subpolares são locais bastante sensíveis às mudanças ambientais, e em especial a IRG, pois a ilha situa-se sob a frente atmosférica antártica e no limite do gelo marinho no inverno. Vários

* Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), CEA-Saclay, Orme des Merisiers, Bât 709, 91191 Gif-Sur-Yvette Cedex, France.
e-mail: ferron@lsce.saclay.cea.fr

** Laboratório de Pesquisas Antárticas e Glaciológicas (LAPAG), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia, C.P. 15001, 91570-970 Porto Alegre (RS), Brasil. e-mail: fea@if.ufrgs.br

*** Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (LGGE), 54, Rue Molière, Domaine Universitaire, BP 96.
e-mail: simoes@glaciog.ujf-grenoble.fr

autores, citados na Tab.1, apresentam para diversos períodos os valores médios anuais para a temperatura atmosférica na IRG, a qual variou entre $-2,0$ e $-2,9^{\circ}\text{C}$.

Metodologia

A tabela base utilizada para a construção da série temporal foi a publicada por JONES & LIMBERT (1987) com o registro das temperaturas médias mensais até 1986. Nessa tabela base, o período 1947-67 corresponde ao registro efetuado em uma base britânica na ilha Deception - $62^{\circ}59'S$; $60^{\circ}34'W$ - e a partir de 1968, na base russa de Bellingshausen ($62^{\circ}12'S$; $58^{\circ}54'W$). A partir de 1987, a tabela base foi atualizada com informações de Bellingshausen obtidas no banco de dados da Divisão de Gelo e Clima (ICD - *Ice and Climate Division*) do Serviço Antártico Britânico (BAS - *British Antarctic Survey*), disponível na Internet no endereço <http://www.nerc-bas.ac.uk/public/icd>. Todas as estações meteorológicas utilizadas encontram-se próximas ao nível do mar (menos de 10 metros de altitude).

As temperaturas médias mensais no período 1985-92 ausentes na tabela base atualizada foram obtidas no Centro Meteorológico Regional Antártico Presidente Eduardo Frei Montalva ($62^{\circ}15'S$, $58^{\circ}56'W$), localizado próximo à base chilena homônima. A correlação entre Bellingshausen e Frei, no período com registro simultâneo nas duas estações (1970-91), apresenta pouca dispersão de pontos, com coeficiente de correlação $r = 0,98$ e nível de confiança de 99% ($< 0,01$).

Posteriormente ao ano de 1992, os valores não existentes na tabela de Bellingshausen foram obtidos pela correlação com os dados da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF - Brasil): $62^{\circ}05'S$, $58^{\circ}23,5'W$. A correlação das temperaturas médias mensais no período em que há sobreposição (1986-94), apresenta $r = 0,96$ com nível de confiança de 99% ($< 0,01$).

A hipótese de equivalência entre duas séries de amostras (Bellingshausen–Frei e Bellingshausen–Ferraz) foi testada para verificar a possibilidade de transferência de temperaturas de uma estação para outra, utilizando-se como método estatístico o teste-t (SMITH *et al.*, 1996).

Figura1 Mapa de localização da Ilha Rei George, mostrando as principais estações meteorológicas utilizadas neste trabalho.

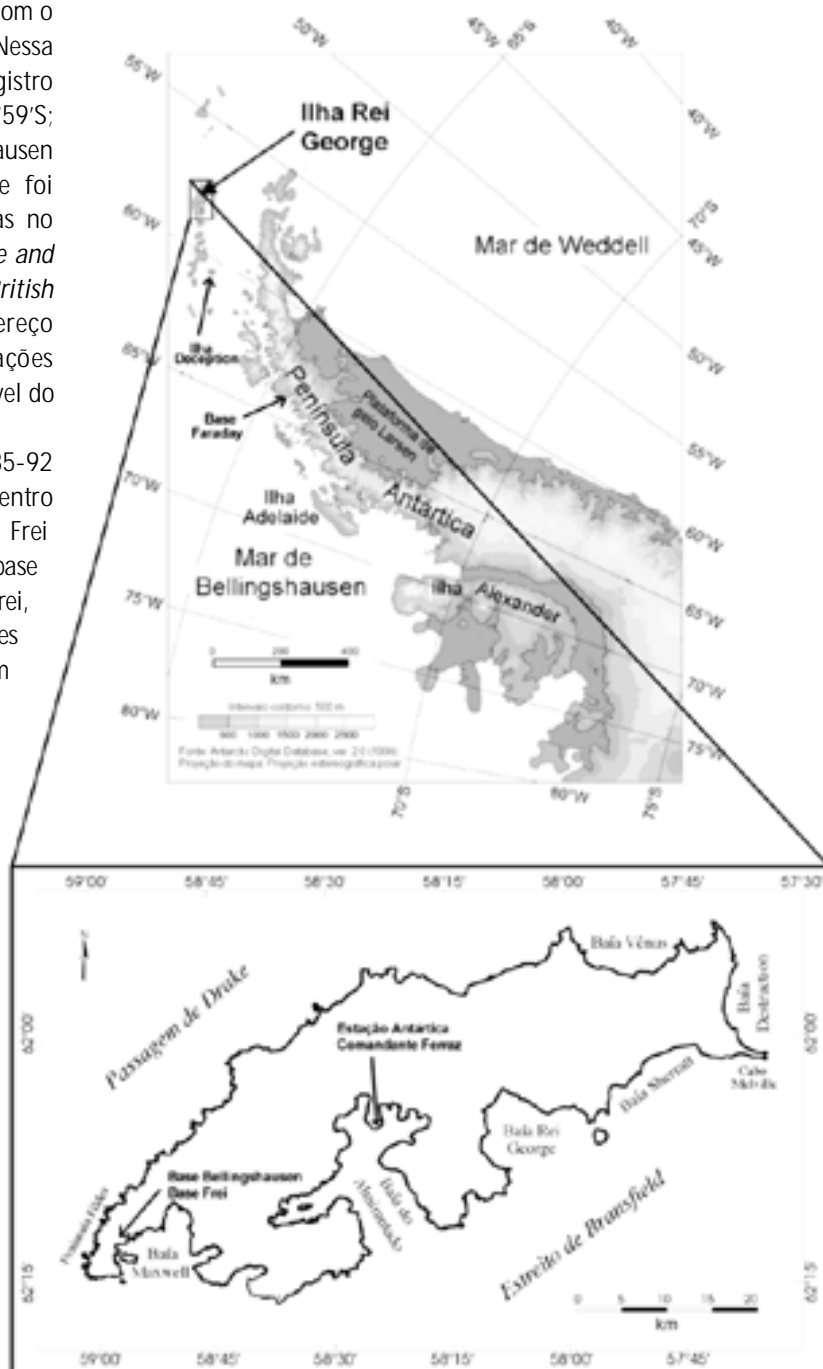


Tabela 1 Registros de temperaturas superficiais médias da Iha Rei George de acordo com os períodos analisados por diferentes autores.

Período	Temp. média (°C)	Referência
1947-95	- 2,8	Este trabalho
1948-87 ⁽¹⁾	- 2,0	Rakusa-Suszczewski <i>et al.</i> (1993)
1948-57	- 2,7	Noble (1959)
1968-70	- 2,9	Simonov (1977)
1970-91	- 2,4	Wen <i>et al.</i> (1994)
1978-87	- 2,0	Bintanja (1995)

Nota: ⁽¹⁾ Estimativa a partir de 1948 utilizando dados coletados no período 1978-87 na estação polonesa Henrik Arctowski.

A transferência de temperaturas da ilha Deception para Bellingshausen foi realizada por JONES & LIMBERT (1987), que subtraíram 0,3°C das médias mensais das temperaturas da ilha Deception.

Resultados

Tendência geral

No período 1947-95 o registro de temperatura média anual da IRG (Fig. 2) apresenta tendência de aquecimento de 0,022°C a⁻¹, i.e., um aumento de 1,08°C em 49 anos. A temperatura média anual no período (média geral) foi de -2,8 C, com mínima de -5,2°C, em 1959, e máxima de -0,8 C, em 1989.

Podemos subdividir o período 1947-95 em três partes: (1) entre 1947 e 59 (média de -3,4 ±1,3°C), a maioria dos anos teve temperatura abaixo da média geral; (2) entre 1960 e 80 (média de -2,8°C), a temperatura foi próxima à média geral, com pouca dispersão de pontos, o que é demonstrado pelo baixo desvio padrão (0,7), e (3) de 1981 a 95, a temperatura esteve acima da média geral (média de -2,4 ±0,9°C).

Entre 1960 e 1985, a tendência de aquecimento foi mais pronunciada, com um gradiente de 0,037° C a⁻¹ (Fig.2), representando um aumento de 0,96°C (i.e., aproximadamente 89% do aquecimento total no período de 1947-95).

Ao longo do período estudado, os gradientes mais acentuados ocorrem no inverno e outono, bem como os maiores desvios-padrão, caracterizando maior variabilidade nessas estações (Tab. 2). O mês do ano com menor temperatura média (-7,3°C) e maior desvio padrão (3,2°) é julho (Fig. 3).

Anomalias

Grande variabilidade interanual na média mensal é característica, em geral, da série temporal de temperatura da IRG. Segundo KING & HARANGOZO (1998), essa variabilidade no setor oeste da península deve-se à interação atmosfera – gelo - oceano e ao caráter irregular da advecção de massas de ar quente nesta região.

Neste item serão comentados os períodos da série temporal com características distintivas, os quais podem ser utilizados, juntamente com registros de extensão de gelo marinho, como marcos de referência climáticos.

Entre os anos de 1956 e 1959, houve acentuada queda na temperatura média: de -1,4°C para -5,2°C. De 1959 a 1962, ocorreu abrupto aumento da temperatura: no último ano com média de -1,3°C, tendo havido, portanto, diferença de 3,9°C em três anos. Observa-se, então, um ciclo completo de seis anos, coerente com resultados da análise espectral do registro (Fig. 4), cuja maior densidade ocorreu em um período de 5,3 anos, seguido por um segundo pico em 9,6 anos, semelhante ao observado por STARK (1994) no registro da Base Faraday (65°15'S; 64°16'W) entre 1947 e 1990 (ciclos de 5 e 9 anos). Ciclos de 5, 6 e 9 anos são identificados por YIOU *et al.* (1996) no registro das variações globais da temperatura atmosférica do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climatic Change*) (HOUGHTON *et al.*, (1990).

Os anos de 1949 (-4,9°C), 1959 (-5,2°C) e 1969 (-3,8°C) apresentam baixos característicos, podendo ser correlacionados com o ciclo de 9,6 anos referido acima. Outros baixos de temperatura são encontrados em 1980, 1987, 1991 e 1995. Os anos com registro de temperaturas

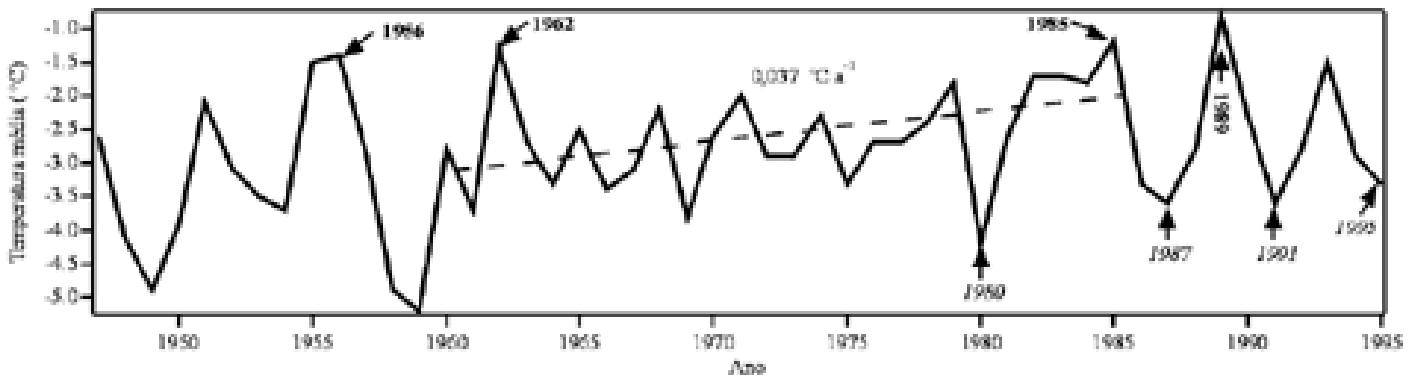


Figura 2 Série temporal de temperatura média anual para a Ilha Rei George.
A linha tracejada representa a tendência no período 1960-85. Os anos marcados por setas são referidos no texto.

Tabela 2 Dados de temperatura nas estações do ano no período 1947-95 na Ilha Rei George

Estação	Gradiente (°C a-1)	Temp. média (°C)	Desvio padrão (°C)	Temp. mínima (°C)	Temp. máxima (°C)
Primavera ⁽¹⁾	0,015	- 3,0	2,0	- 9,0	0,1
Verão ⁽²⁾	0,016	0,9	0,9	- 1,3	2,7
Outono ⁽³⁾	0,017	- 2,2	2,5	- 8,3	2,4
Inverno ⁽⁴⁾	0,038	- 7,0	2,8	- 15,5	- 1,0

Notas: ⁽¹⁾ setembro, outubro e novembro; ⁽²⁾ dezembro, janeiro e fevereiro; ⁽³⁾ março, abril e maio ; ⁽⁴⁾ junho, julho e agosto. Esta divisão das estações do ano é a mesma adotada no trabalho de WIELBINSKA & SKRZYPCZAK (1988).

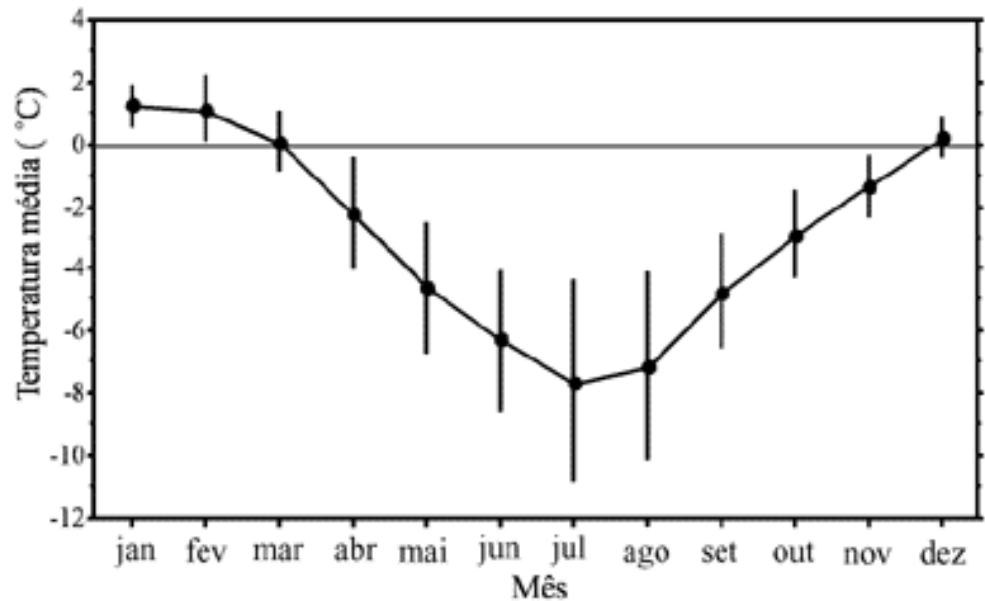


Figura 3 Temperaturas médias mensais no período 1947-95 na Ilha Rei George. As barras verticais representam o desvio padrão.

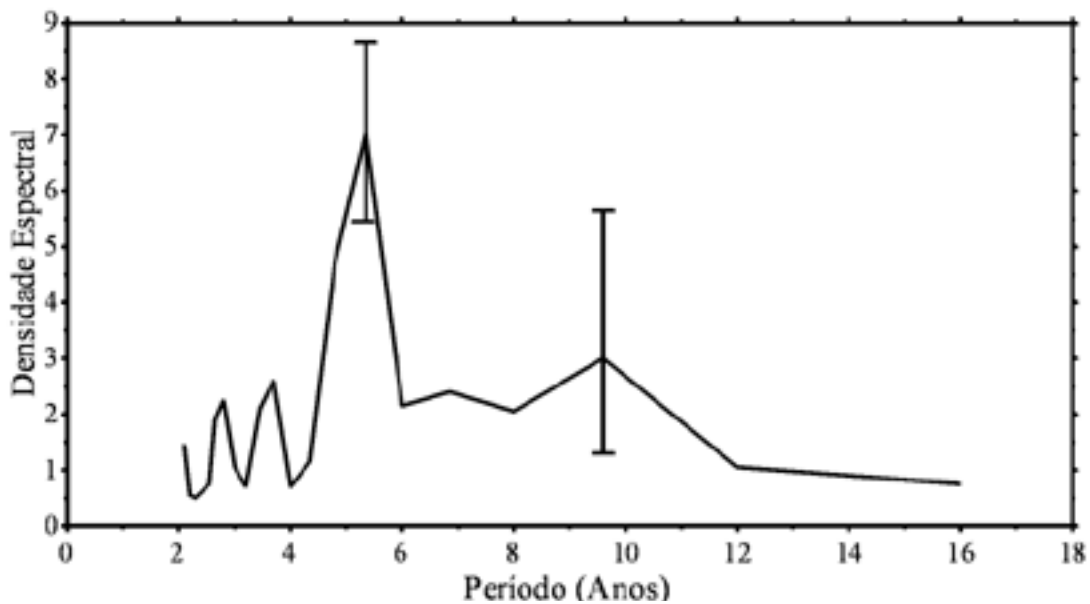


Figura 4 Gráfico de análise espectral (periodograma) da série de temperatura média anual da IRG no período 1947-95. As linhas verticais representam barras de confiança para os períodos de 5,3 e 9,6 anos. A densidade espectral é uma unidade adimensional

médias mais elevadas (acima de $-1,5^{\circ}\text{C}$) são 1956 ($-1,4^{\circ}\text{C}$), 1962 ($-1,3^{\circ}\text{C}$), 1985 ($-1,2^{\circ}\text{C}$) e 1989 ($-0,8^{\circ}\text{C}$), este último o mais quente durante o período estudado.

Comparação com registro do gelo marinho

Nesta seção discutem-se os valores médios de extensão do gelo marinho no mês de agosto (i.e., o mês com extensão máxima) na longitude 60°W no período 1976-95, comparando-o com a série de temperatura. Os valores utilizados foram obtidos na base de dados da

Divisão Antártica Australiana (*Australian Antarctic Division*), disponíveis na Internet no endereço: <http://www.antcrc.utas.edu.au/~jacka/seaice.html>

A maior variabilidade mensal (representada pelo desvio-padrão) também ocorre no mês de agosto (Fig. 5). Análise da correlação cruzada entre a extensão do gelo e a temperatura média anual, mantendo esta última como variável independente, mostra que a maior correlação ocorre com retardo (*lag*) de um mês, com coeficiente de correlação $r = 0,7$ (significante em nível de confiança de 99%). Assim, a temperatura mínima é atingida em julho (Fig.3), ao passo que o gelo marinho alcança sua posição mais setentrional em agosto (Fig.5).

Em relação às anomalias presentes, cinco anos destacam-se no registro (Fig. 6) pela grande extensão do gelo

marinho (latitude mínima entre parênteses): 1977 ($58,8^{\circ}\text{S}$), 1980 ($58,3^{\circ}\text{S}$), 1987 ($58,1^{\circ}\text{S}$), 1991 ($58,3^{\circ}\text{S}$) e 1995 (57°S). Os quatro últimos anos tiveram as menores temperaturas médias anuais na IRG durante as duas últimas décadas: $-4,2^{\circ}\text{C}$, $-3,6^{\circ}\text{C}$, $-3,6^{\circ}\text{C}$ e $-3,3^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Os anos em que a cobertura de gelo marinho foi mais restrita foram: 1979 (62°S), 1982 ($61,2^{\circ}\text{S}$), 1989 ($63,2^{\circ}\text{S}$) e 1994 ($61,7^{\circ}\text{S}$). Os três primeiros tiveram as temperaturas médias anuais mais elevadas na IRG: ($-1,8^{\circ}\text{C}$), ($-1,7^{\circ}\text{C}$) e ($-0,8^{\circ}\text{C}$), respectivamente.

Discussão e conclusões

A série temporal mostra tendência de aquecimento de $0,022^{\circ}\text{C a}^{-1}$ no período 1947-95, representando um aumento total de $1,08^{\circ}\text{C}$, com temperatura média de $-2,8^{\circ}\text{C}$. Essa tendência assemelha-se à verificada por JACKA & BUDD (1998) no período 1959-96 ($0,024^{\circ}\text{C a}^{-1}$), utilizando várias estações na península Antártica. Porém, as estações localizadas mais ao sul apresentaram tendências mais pronunciadas, como é o caso de Faraday no período de 1945 a 90 ($0,057^{\circ}\text{C a}^{-1}$), de acordo com SMITH *et al.* (1996), e no período 1956-96 ($0,052^{\circ}\text{C a}^{-1}$) de acordo com SKVARCA *et al.* (1998). A tendência de aquecimento mais pronunciada na IRG ($0,037^{\circ}\text{C a}^{-1}$) ocorreu entre 1960 e 85. A análise dos dados sazonais durante o período 1947-95 mostrou que o aumento

da temperatura nos meses de inverno (gradiente de $0,038^{\circ}\text{C a}^{-1}$) foi o principal contribuidor para o aquecimento regional. Nessa estação, ocorre grande oscilação nos valores diários de temperatura com variação de até 14°C ; a pressão atmosférica é mais elevada, diminuindo a formação de nuvens e aumentando a perda de calor, o que gera diferenças maiores de temperatura entre o dia e a noite (SETZER & HUNGRIA, 1994).

Os períodos de 5,3 e 9,6 anos presente no registro estão

de acordo com os resultados obtidos por outros estudos realizados na Base Faraday (península Antártica) e com dados do IPCC. O exame da interação entre temperatura e extensão do gelo marinho indica a existência de um mês de retardo entre a mudança de temperatura e os decorrentes aumento ou redução na extensão do gelo.

O oceano é um importante controlador do clima da IRG, pois as massas d'água no inverno são mais quentes que as

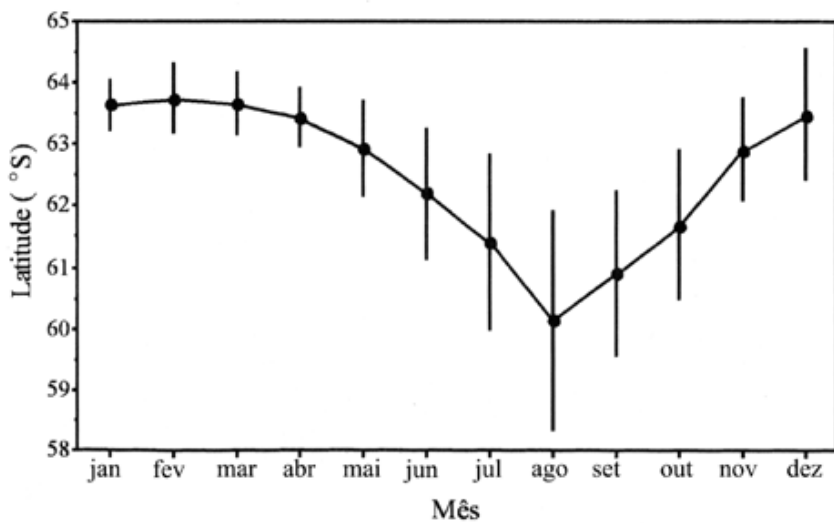


Figura 5- Médias mensais da extensão máxima do gelo marinho na longitude 60° W no período 176-95. As linhas verticais representam o desvio padrão de cada medida.

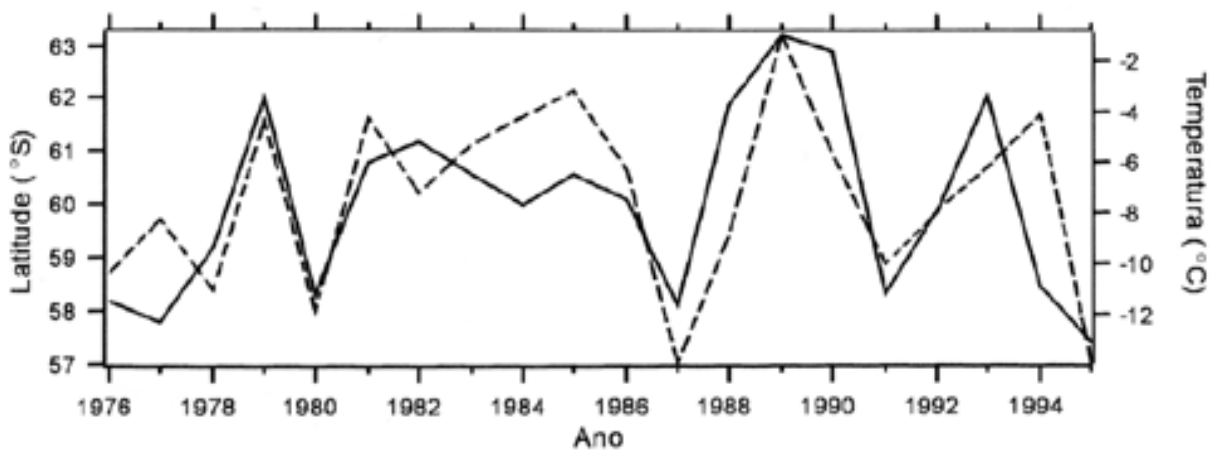


Figura 6- Variação da extensão do gelo marinho no mês de agosto (linha cheia) ao longo do período 1976-95 na longitude 60° W comparada com o registro de temperatura média no mês de julho (linha tracejada).

camadas inferiores da atmosfera, aquecendo, dessa forma, a região. No verão ocorre o efeito contrário (SZAFRAŃSKI & LIPSKI, 1982), porém a progressiva redução da temperatura nos meses de inverno ocasiona o avanço do gelo marinho para o norte, reduzindo a influência marítima no clima da IRG.

Os recuos das frentes de geleiras e as perdas na cobertura glacial da IRG a partir da década de 50, registrados por BREMER (1998), PARK *et al.* (1998) e SIMÕES *et al.* (1999), podem estar associados à tendência de aquecimento observada na IRG desde o final da década de 40. Estudos mais detalhados e completos, porém, necessitam ser realizados para confirmar essa hipótese.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao dr. Alberto W. Setzer (Instituto de Pesquisas Espaciais -INPE – São Paulo, Brasil), que gentilmente forneceu dados meteorológicos da EACF. Os recursos para a realização deste trabalho foram providos pelo Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) através do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) [Projeto 490235/97-2].

FERRON, F.A.; SIMÕES, J.C.; AQUINO, F.E. (2001) Atmospheric temperature time series for King George Island, Antarctica. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 14, p. 25-32.

Abstract: This work examines the atmospheric temperature record of King George Island for the period 1947-95, using the mean monthly data recorded in several local meteorological stations. A warming trend of $0.022^{\circ}\text{C a}^{-1}$ is observed (i.e., 1.8°C in 48 years), mainly due to the increasing temperature of the winter months. Cycles of 5.5 and 9.6 years were also identified in the temperature time series, agreeing with similar studies for other sites in the Antarctic Peninsula. The sea-ice extension series for the period 1976-95 on the 60° W longitude shows a 1-month time lag when cross-correlated to the monthly mean temperature.

Key words: Climatology; Environmental change; Antarctica; King George Island

Recebido em 31 de julho de 2000, aceito em 21 de dezembro de 2000.

Referências bibliográficas

- BINTANJA, R. (1995) The local surface energy balance of the Ecology Glacier, King George Island, Antarctica: measurements and modelling. In: BINTANJA, R. (ed.) *The Antarctic ice sheet and climate*. Amsterdam, Utrecht University, p.41-59.
- BREMER, U. F. (1998) *Morfologia e bacias de drenagem da cobertura de gelo da Ilha Rei George, Antártica* Porto Alegre, 1v. (Dissertação – Mestrado) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 119p.
- HOUGHTON, J.; JENKINS, G.J.; EPHRAUMS, J.T. (1990) *Climate Change: the IPCC Scientific assessment*. Cambridge, Cambridge Press. 364p.
- JACKA, T.H.; BUDD, W.F. (1998) Detection of temperature and sea-ice-extent changes in the Antarctic and Southern Ocean, 1949-96. *Annals of Glaciology*, n. 27, p. 553-559.
- JONES, P.D.; LIMBERT, D.W.S. (1987) *A data bank of Antarctic surface temperature and pressure data*. Washington, United States Department of Energy . 52p.
- KING, J.C.; HARANGOZO, S.A. (1998) Climate change in the western Antarctic Peninsula since 1945: observations and possible causes. *Annals of Glaciology*, n. 27, p. 571-575.
- NOBLE, H.M. (1959) *Report on glaciological observations at Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Island, 1957-1958*. Falkland Islands Dependencies Survey Report, 22p. [não publicado]
- PARK, B-K.; CHANG, S-K.; YOON, H.I.; CHUNG, H. (1998) Recent retreat of ice cliffs, King George Island, South Shetland Islands, Antarctic Peninsula. *Annals of Glaciology*, n. 27, p. 633-635.
- RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S.; MIETUS, M.; PIASECKI, J. (1993) Weather and climate. In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. (ed.) *The maritime antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay*. Polish Academy of Sciences, p.19-25.
- SETZER, A.W.; HUNGRIA, C.S. (1994) *Meteorologia na Península Antártica: alguns aspectos práticos*. São José dos Campos (SP), 1v. (Relatório Interno INPE-5612- RPO/668) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 101p. [não publicado]
- SIMÕES, J.C.; BREMER, U.F.; AQUINO, F.E.; FERRON, F.A. (1999) Morphology and variations of glacial drainage basins in the King George Island ice field, Antarctica. *Annals of Glaciology*, v. 29, p. 220-224.
- SIMONOV, I.M. (1977) Physical geographic description of the Fildes Peninsula (South Shetland Islands). *Polar Geography*, v. 1, p. 223-242.
- SKVARCA, P.; RACK, W.; ROTT, H.; IBARZÁBAL y DONÁNGELO, T. (1998) Evidence of recent climatic warming on the eastern Antarctic Peninsula. *Annals of Glaciology*, n. 27, p. 628-632.
- SMITH, R.C.; STAMMERJOHN, S.E.; BAKER, K.S. (1996) Surface air temperature variations in the western Antarctic Peninsula region. *Antarctic Research Series* (American Geophysical Union), v. 70, p. 105-121.
- STARK, P. (1994) Climatic warming in the central Antarctic Peninsula area. *Weather*, v. 49, n. 6, p. 215-220.
- SZAFRAŃSKI, Z.; LIPSKI, M. 1982. Characteristics of water temperature and salinity at Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands, Antarctic) during the austral summer 1978/1979. *Polish Polar Research*, v. 3, p. 7-24
- WEN, J.; KANG, J.; XIE, Z.; HAN, J.; LLUBERAS, A. (1994) Climate, mass balance and glacial changes on small dome of Collins Ice Cap, King George Island, Antarctica. *Antarctic Research*, v. 5, n. 1, p. 52-61.
- WIELBINSKA, D.; SKRZYPCZAK, E. (1988) Mean air temperatures at definite wind directions at Arctowski Station, King George Island, West Antarctica. *Polish Polar Research*, v. 9, p. 133-145.
- YIOU, P.; BAERT, E.; LOUTRE, M.F. (1996) Spectral analysis of climate data. *Surveys in Geophysics*, v. 17, p. 619-663.