

Universidade de São Paulo – USP
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG
Departamento de Ciências Atmosféricas - ACA

Estudo das propriedades radiométricas na região Antártica

Caio Jorge Ruman

Orientadora: Jacyra Soares

Bolsa CNPq N°: 123939/2010-0
Vigência: 2010/2011

Relatório final de atividades de pesquisa de iniciação científica
Período: Fevereiro de 2011 a Julho de 2011

Agosto de 2011

ACA-IAG-USP

ÍNDICE

1. Introdução	2
1.1. Objetivos.....	3
2. Região e dados de estudo.....	3
3. Resultados	4
3.1. Albedo da superfície.....	5
3.2. Emissividade da superfície.....	6
3.3. Dias de céu claro.	7
3.4. Transmissividade atmosférica.....	10
3.5. Período de luz solar	11
3.6. Total diário mensal de radiação solar incidente	12
4. Conclusão.....	13
5. Referências	13
6. Outras Atividades	14
6.1. Disciplinas cursadas no período:.....	14
6.2. Treinamento Pré-Antártico.....	14
6.3. Apresentação de trabalho em simpósio.....	14

1. Introdução

A região Antártica não só exporta sinais climáticos, afetando o clima global, mas também importa sinais climáticos globais, sofrendo suas conseqüências. Os impactos ambientais antrópicos ocorrentes no planeta são refletidos na Antártida, sobretudo aqueles provenientes da América do Sul. O continente gelado responde a essas agressões de forma potencializada.

A pesquisa científica realizada nas regiões polares tem tido grande valor na compreensão das implicações das mudanças ambientais percebidas nessas regiões e sua importância ambiental e econômica. As séries temporais longas, por sua vez, reduzem as incertezas dos modelos de previsão, além de permitirem a avaliação mais acurada de implicações futuras, subsidiando as tomadas de decisão.

Monitorar os sistemas terrestre, marítimo e atmosférico é fundamental para detectar e compreender mudanças climáticas e ambientais. Para medir tais mudanças é necessário coletar dados continuamente, com qualidade controlada e por um longo prazo. Para se ter uma compreensão global integrada, é necessária uma rede abrangente de sistemas de monitoramento e observação (Setzer e Kayano, 2010).

O presente projeto de Iniciação Científica encaixa-se dentro Projeto “*Estudo da Turbulência na Antártica (ETA)*”, coordenado por Jacyra Soares, do IAG-USP, e pertencente ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártico de Pesquisas Ambientais (INCT-APA) http://www.cnpq.br/programas/inct/apresentacao/inct_pesq_amb_antartica.html. O INCT-APA é uma iniciativa do Ministério da Ciência e Tecnologia e é constituído por pesquisadores que atuam de forma integrada na educação, difusão da ciência e na avaliação de impactos ambientais locais e globais nos ambientes atmosférico, terrestre e marinho da região Antártica Marítima. O principal objetivo do Instituto é estudar as mudanças climáticas que ocorrem na Antártida. Seu campo de estudo é a Ilha Rei George, onde está instalada a Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (EACF). Essa é uma região bastante sensível às variações climáticas e o estudo de suas particularidades pode trazer respostas às mudanças globais do clima.

O ETA é um projeto de pesquisa cujo primeiro objetivo é investigar o balanço de energia através da determinação observacional direta dos fluxos verticais turbulentos de calor sensível, latente e de momento, na Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (EACF), na Ilha Rei George (62°05' S, 58°23' W) usando sensores de resposta rápida (método direto) instalados em uma torre. Serão medidas também variáveis meteorológicas, em 3 níveis de altura (método indireto) possibilitando a validação e calibração das parametrizações usualmente utilizadas em modelos numéricos oceânicos e atmosféricos. Devido o caráter multidisciplinar das atividades de pesquisa relacionadas ao

balanço de energia, acredita-se que o estabelecimento de uma base experimental na EACF trará benefícios não só ao projeto ETA, mas também aos demais projetos de pesquisa em execução dentro do âmbito do INCT-APA.

1.1. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é descrever e analisar as propriedades radiométricas da atmosfera na região Antártica com ênfase na investigação das mudanças climáticas. Para a efetivação da presente proposta de pesquisa pretende-se:

- Realizar um levantamento bibliográfico relativo à região Antártica. Através desse levantamento será possível conhecer melhor a região de estudo;
- Obter nos bancos de dados meteorológicos disponíveis as componentes do balanço de radiação na região Antártida;
- Realizar o tratamento dos dados de radiação de onda curta e de onda longa;
- Obter o balanço de radiação e as propriedades radiométricas da região;
- Comparar a evolução diurna das propriedades radiométricas da atmosfera (transmissividade) e da superfície (albedo e emissividade) com expressões gerais disponíveis na literatura.

A atual fase do trabalho teve como objetivos:

- Estudo dos dias de céu claro na região da EACF.
- Estudo da transmissividade da atmosfera e do albedo e da emissividade da superfície na região da EACF.
- Análise do total diário de radiação solar.

Além das atividades extras:

- Participação no Treinamento Pré-Antártico, realizado na base naval CADIM (Centro de atividades da ilha de Marambaia), localizada na Ilha de Marambaia – RJ;
- Programação do Datalogger CR5000 da Campbell Scientific Inc., testando os instrumentos que serão levados para instalar no módulo meteoro da EACF;
- Participação no projeto Estudo da Turbulência na Antártica (ETA), que irá coletar dados *in situ* na região da EACF.

2. Região e dados de estudo

Neste relatório foram utilizados dados da Estação Antártica Comandante Ferraz. Essa estação encontra-se na Ilha Rei George, no Arquipélago das Shetlands do Sul, na Península Antártica (62°05'07" S, 58°23'33" W) e está a 20 m acima do nível médio do mar. O arquipélago está situado a 130 km do continente Antártico e a 849 km do ponto mais ao sul do continente americano (Cabo Horns).

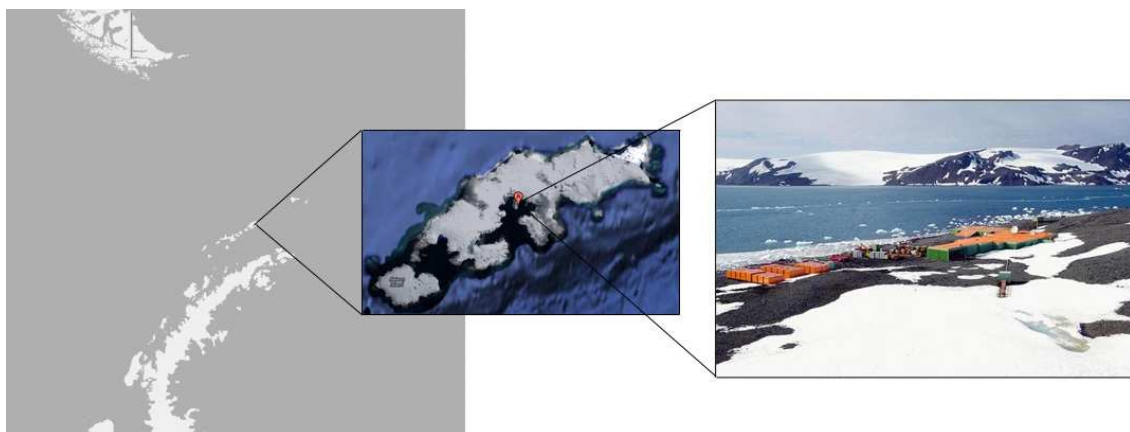


Figura 1: Região de estudo e a EACF. Ilha Rei George, Arquipélago das Shetlands do Sul, Península Antártica (62°05'07" S, 58°23'33" W).

Os dados utilizados nesse trabalho estão resumidos na tabela 1.

Parâmetro	Símbolo	Fonte	Posição geográfica	Período	Resolução
Onda curta incidente	OC↓	EACF	(62°05'07"S, 58°23'33"W)	1993-2009	1 hora
Onda curta refletida	OC↑	SRB	(62°S, 58°W)	1993-2007	3 horas
Onda longa emitida pela atmosfera	OL↓	SRB	(62°S, 58°W)	2000-2007	3 horas
Onda longa emitida pela superfície	OL↑	SRB	(62°S, 58°W)	2000-2007	3 horas
Temperatura do solo a 5cm de profundidade	T	EACF	(62°05'07"S, 58°23'33"W)	2000-2007	1 hora

Tabela 1: Resumo dos dados utilizados, com o símbolo, fonte, posição geográfica, período e resolução.

3. Resultados

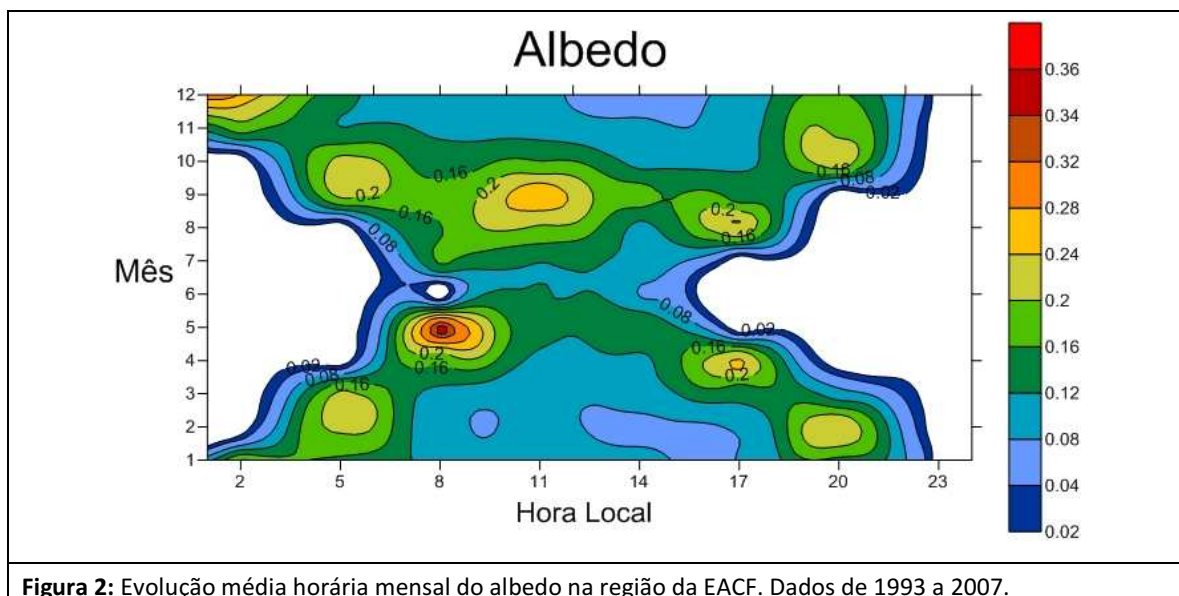
Neste trabalho, os valores de radiação de onda curta incidente na superfície (OC↓) e onda longa emitida pela atmosfera (OL↓) foram considerados negativos, pois essas componentes estão orientadas no sentido contrário ao referencial utilizado. Os valores de radiação de onda longa emitida pela superfície (OL↑) e onda curta refletida pela superfície (OC↑) foram considerados positivos, por estarem orientados no sentido do referencial utilizado.

3.1. Albedo da superfície

O albedo foi calculado utilizando os dados observados na EACF ($OC\downarrow$) e os dados obtidos do SRB ($OC\uparrow$):

$$\alpha = -\frac{OC\downarrow}{OC\uparrow} \quad (1)$$

A área dos dados do SRB é constituída de 80% de água de modo que os resultados obtidos possuem característica de oceano, com valores variando conforme a posição do Sol, isto é, o albedo é maior nos períodos em que o Sol está mais perto do horizonte, como nascer e por do Sol (Figura 2). Entretanto, os dados do SRB não possuem uma resolução adequada (resolução de 3h) e, dessa forma, os resultados devem ser vistos com cuidado.



O histograma com os albedos mais frequentes para a região (Figura 3) mostra que 75% desses valores se encontram abaixo de 0,3. Da literatura, temos um valor médio anual de 0,76 para uma base próxima a EACF, a Base Faraday, lat. 65,3° S e 64,3° W, que também se encontra na península Antártica (Kinge e Turner, 1997). A razão desse albedo relativamente baixo será analisada futuramente utilizando os dados obtidos *in situ* com o projeto ETA.

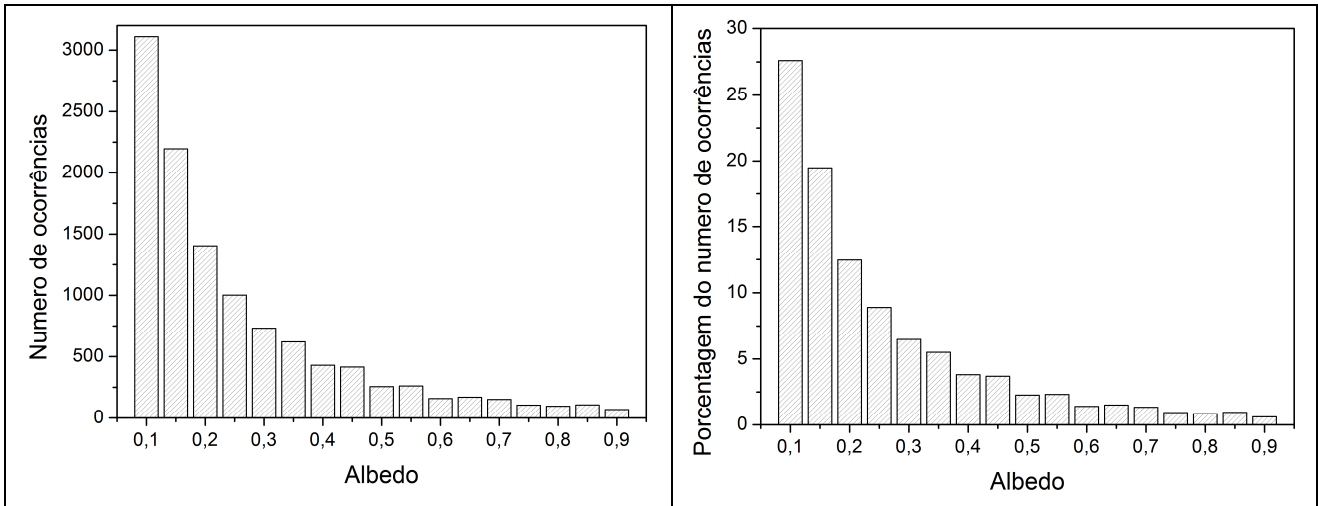


Figura 3: Histograma do albedo de 3 em 3 horas, estimado na região da EACF, no período de 1993-2007.

3.2. Emissividade da superfície

Para estimar a emissividade da superfície foram utilizados dados de temperatura do solo a 5 cm de profundidade obtidos *in situ* na EACF, de 2000 a 2007.

A evolução média horária mensal da temperatura do solo a 5 cm de profundidade na região da EACF é mostrada na Figura 4. Nos meses quentes, observamos uma mudança da temperatura ao longo do dia, provavelmente devido ao solo não estar coberto de neve. Durante os meses de inverno não se verifica uma variação diurna da temperatura do solo a 5 cm de profundidade.

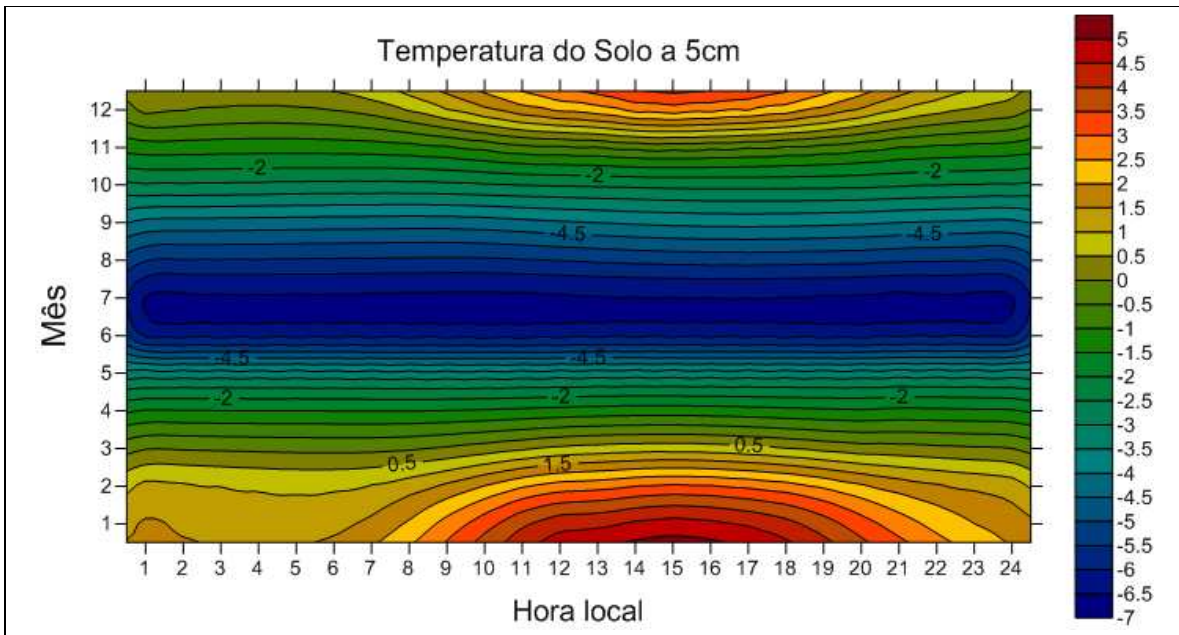


Figura 4: Evolução média horária mensal da temperatura do solo a 5 cm de profundidade na região da EACF. Dados de 2000 a 2007.

Pela lei de Stefan-Boltzman, temos:

$$OL \uparrow = \epsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

Onde σ é a constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$), T é a temperatura (em Kelvin) e ϵ é emissividade da superfície. Utilizando a temperatura do solo a 5 cm de profundidade obtida *in situ* na EACF (Figura 4) e os dados de $OL \uparrow$ obtidos do SRB, foi estimada a emissividade da superfície da região da EACF. Como os dados de $OL \uparrow$ possuem resolução de 3 horas, a temperatura também foi utilizada nessa resolução.

Após uma filtragem dos dados para remover valores espúrios, foram gerados os histogramas com os valores estimados da emissividade, com resolução de 3 horas (Figura 5).

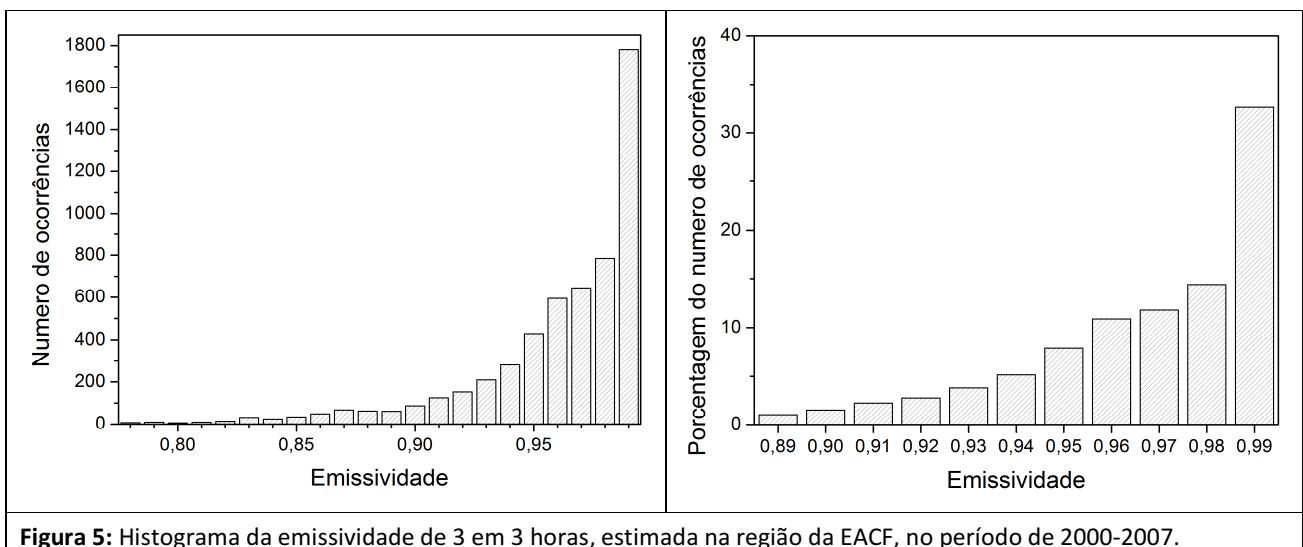


Figura 5: Histograma da emissividade de 3 em 3 horas, estimada na região da EACF, no período de 2000-2007.

Verifica-se que os valores da emissividade se concentram entre 0,96 e 0,99, com 70% dos valores encontrados presentes nessa região. Outra região significativa é entre 0,9 e 0,95, com 23% dos valores. Utilizando dados da literatura, verifica-se que a emissividade da neve varia entre 0,97-0,98, a da água do mar entre 0,94-0,98 e do gelo marinho entre 0,92-0,97 (King. e Turner1997).

Como os dados utilizados do SRB correspondem a 80% de oceano, os dados estimados estão dentro dos valores encontrados na literatura.

3.3. Dias de céu claro.

Para o cálculo dos dias de céu claro e da transmissividade atmosférica, primeiro foi preciso obter a radiação solar incidente no topo da atmosfera (TOA), que foi calculado seguindo os seguintes procedimentos numéricos (Iqbal, 1983):

A radiação solar no TOA (I_0) foi estimada pela expressão:

$$I_0 = S_0 \left(\frac{d_m}{d} \right)^2 \cos \gamma \quad (3)$$

Onde S_0 é a constante solar média (1366 Wm^{-2}), d_m e d são respectivamente as distâncias média e real entre o Sol e a Terra, e γ é o ângulo solar zenital, calculado por:

$$\cos \gamma = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos h \quad (4)$$

Onde δ é a declinação solar, φ é a latitude e h é o ângulo horário calculado pela expressão:

$$h = \left[GMT + \frac{\lambda}{15} - (12 - E_T) \right] \frac{2\pi}{24} \quad (5)$$

Onde GMT é o horário de Greenwich em que se deseja calcular a radiação incidente no topo, λ é a longitude (em graus) e E_T é a equação do tempo.

A declinação solar, a distância Terra-Sol e a equação do tempo foram estimadas pelas expressões empíricas:

$$\delta = (a_1 + a_2 \cos \theta + a_3 \sin \theta + a_4 \cos 2\theta + a_5 \sin 2\theta) \frac{180}{\pi} \quad (6)$$

$$\left(\frac{d_m}{d} \right)^2 = b_1 + b_2 \cos \theta + b_3 \sin \theta + b_4 \cos 2\theta + b_5 \sin 2\theta \quad (7)$$

$$E_T = (c_1 + c_2 \cos \theta + c_3 \sin \theta + c_4 \cos 2\theta + c_5 \sin 2\theta) \frac{1440 \text{min}}{2\pi} \quad (8)$$

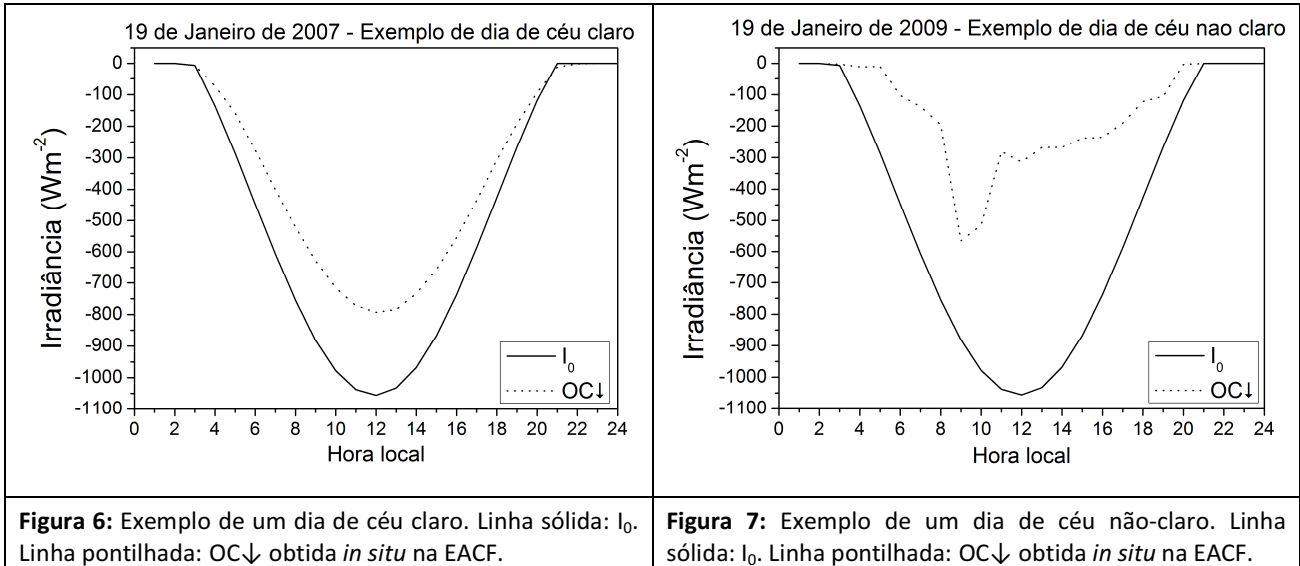
Onde $\theta = 2\pi d / 365$ é calculado em termos do dia do ano, sendo $d=0$ para 1 de Janeiro e $d=364$ para 31 de dezembro.

Os coeficientes utilizados nas expressões de (7) a (9) seguem na Tabela 2:

Tabela 2: Constantes utilizadas no cálculo empírico da declinação solar, da distância Terra-Sol e da equação do tempo.					
a1	0,006918	b1	1,000110	c1	0,000075
a2	-0,399912	b2	0,034221	c2	0,001868
a3	0,070257	b3	0,001280	c3	-0,032077
a4	-0,006758	b4	0,000719	c4	-0,014615
a5	0,000907	b5	0,000077	c5	-0,040849

Calculou-se o valor de I_0 para cada horário disponível nos dados de OC_{\downarrow} da EACF, que possuem resolução de 1 hora.

Analisando a evolução temporal de $OC\downarrow$ e de I_0 , foi verificada, por inspeção visual, a ocorrência de dias de céu claro na região da EACF. Foi feito um script em python para gerar um gráfico para cada dia, com os valores calculados de I_0 e os valores obtidos de $OC\downarrow$ na EACF, para o período de 2000 a 2009.



Em um dia de céu claro, não há variações abruptas na curva de dados de $OC\downarrow$ da EACF (Figura 6). O valor menor que o de I_0 é causado pela atenuação da radiação incidente por espalhamento ou absorção.

A Figura 7 ilustra um dia de céu não-claro, em que a presença de nuvens diminui a intensidade de radiação solar que chega a superfície.

Foram gerados 3653 gráficos, e após a análise visual, foi possível identificar os dias de céu claro (Figura 8). Do total de dias analisados, somente 86 dias foram de céu claro, ou seja, a ocorrência de dias de céu claro é pouco frequente na região da EACF, com somente 2,3% dos dias no período analisado possuindo céu claro. A concentração é ligeiramente maior no período mais frio, entre Maio e Setembro.

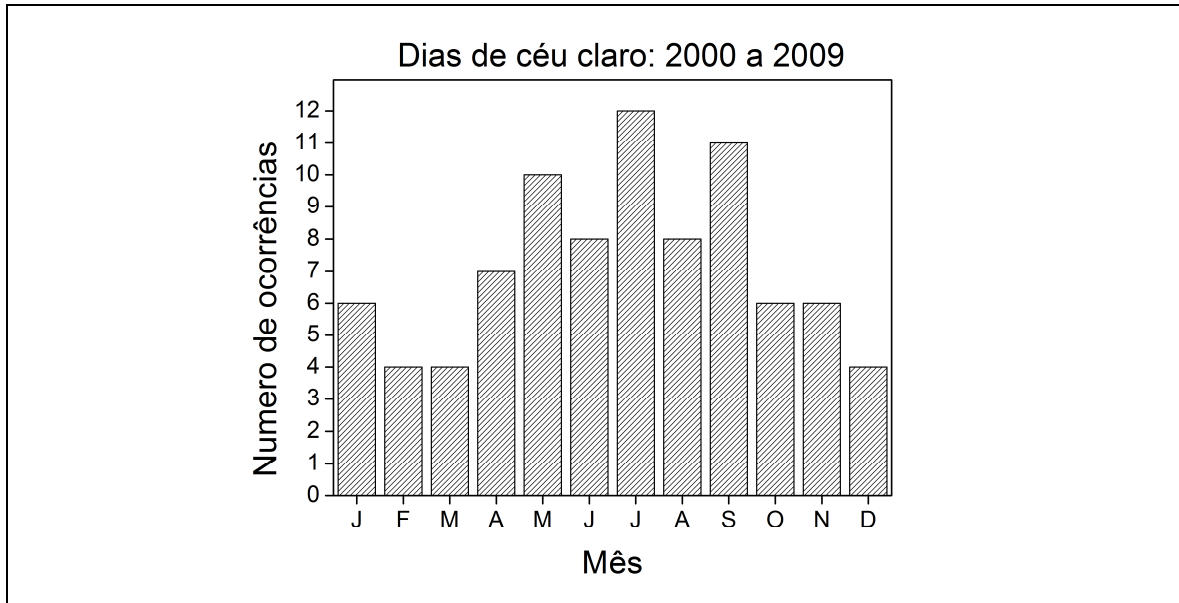


Figura 8: Histograma da frequência de dias de céu claro, para a região da EACF, para o período de 2000 a 2009. Número total de ocorrências analisadas: 3653

3.4. Transmissividade atmosférica

A transmissividade da atmosfera foi estimada a partir da expressão:

$$\Gamma = \frac{OC\downarrow}{I_0} \quad (9)$$

A Figura 9 apresenta a evolução média horária mensal da transmissividade na região da EACF estimada usando os dados da EACF:

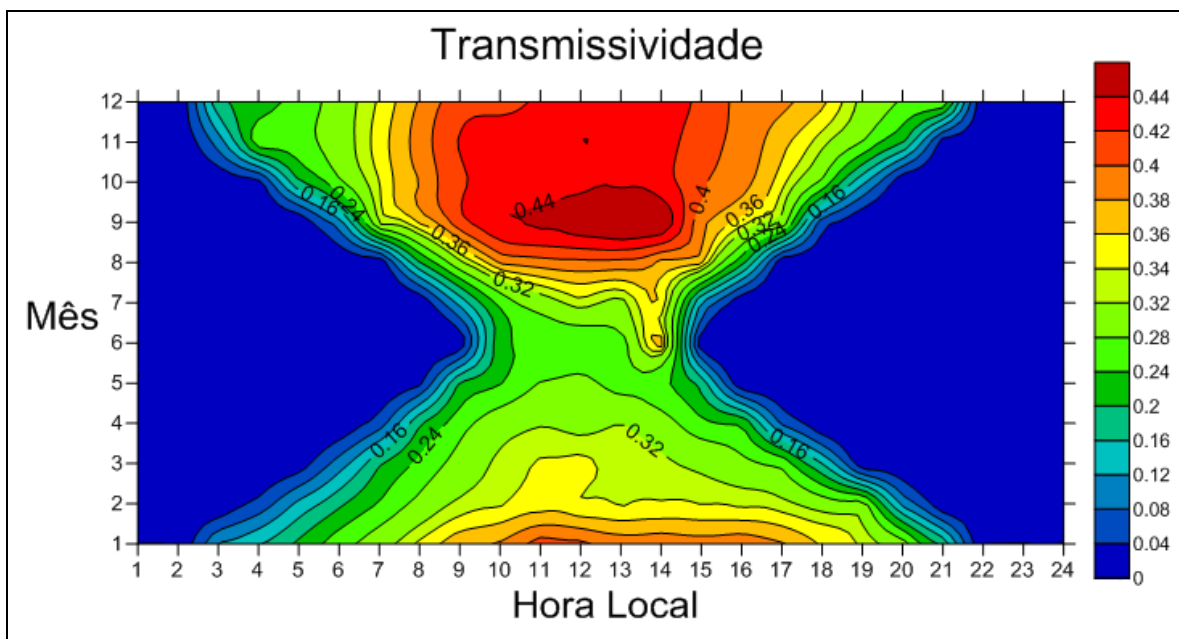
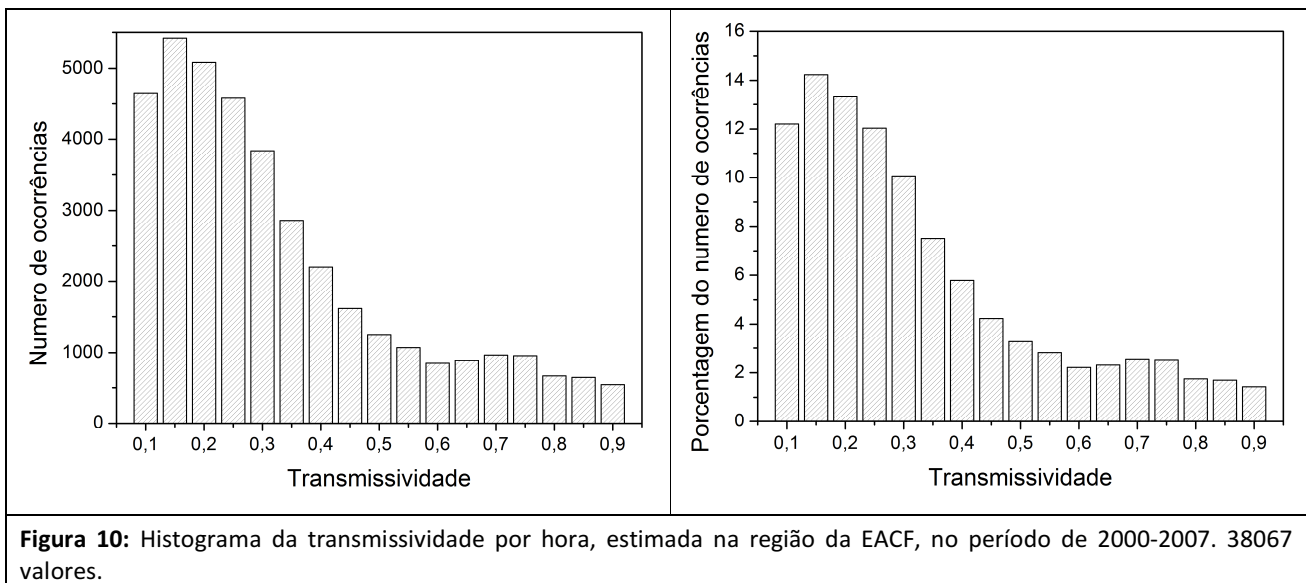


Figura 9: Evolução média horária mensal da transmissividade na região da EACF. Dados de 2000 a 2009.

A transmissividade da atmosfera na região da EACF é maior no segundo semestre do ano, que é o semestre com os maiores valores de $OC\downarrow$. A transmissividade apresenta uma variação diurna importante com valores maiores no meio do dia. Neste período a luz solar percorre um caminho menor na atmosfera terrestre, sofrendo menos atenuação. Os maiores valores se concentram no mês de setembro (0,47).

Segundo a Figura 10, 80% dos valores de transmissividade atmosférica encontram-se entre 0,1 e 0,5, sendo o restante distribuído com pouca variação entre 0,5 e 0,9, um reflexo da baixa quantidade de dias com céu claro na região da EACF.



3.5. Período de luz solar

Utilizando dados do site do *Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory* (<http://aa.usno.navy.mil/data/>), foi calculado o valor médio, em horas, do período de luz solar diário para cada mês do ano, na região da EACF.

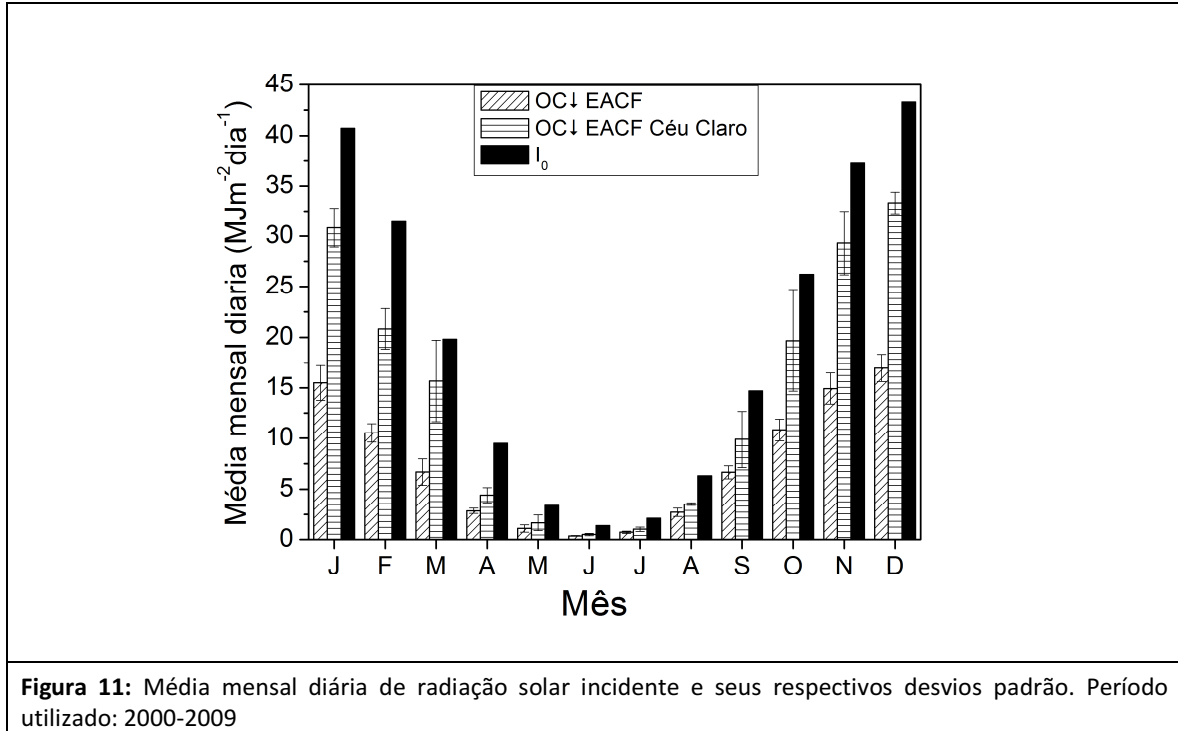
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
18h28min	15h39min	12h40min	9h40min	6h55min	5h16min
Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
6h06min	8h37min	11h31min	14h33min	17h34min	19h33min

Tabela 3: Média diária, em horas, de luz solar por mês, na região da EACF

Por ser uma região de alta latitude, a duração média do dia nos meses de verão é alta, e nos meses de inverno a duração média é baixa. Junho é o mês com menor tempo de luz solar e dezembro o de maior.

3.6. Total diário mensal de radiação solar incidente

Foi calculada a média mensal diária com os seguintes dados: I_0 , $OC\downarrow$ e $OC\downarrow$ nos dias de céu claro, utilizando o período com resolução de 1h (2000-2009).



Analisando a figura 11, verifica-se que a região da EACF recebe mais radiação nos meses de novembro ($15\pm 2 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$), dezembro ($17\pm 1 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e janeiro ($16\pm 2 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$), e menos radiação no mês de junho ($0,37\pm 0,04 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$). Essa é uma característica de regiões de altas latitudes, que recebe muito mais luz solar no verão do que no inverno (Tabela 3).

Podemos observar uma diminuição de até 50% na radiação de onda curta incidente na superfície quando são comparados os raros dias de céu claro com os dias de céu não claro. Por exemplo, em janeiro, temos $31\pm 2 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ para $OC\downarrow$ com céu claro, mas no mesmo período temos aproximadamente metade do valor para $OC\downarrow$ quando o céu não é claro ($16\pm 2 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$).

4. Conclusão

Neste relatório foi apresentado o estudo das propriedades radiométricas na região da EACF, uma análise dos dias de céu claro e do total de radiação solar incidente.

Foi elaborado um programa em Fortran para leitura e tratamento dos dados, com o objetivo de organizar a base de dados composta dos valores das componentes do balanço de radiação e efetuar os cálculos necessários para a análise das propriedades radiométricas da região. Também foi elaborado um script em Python para gerar os gráficos necessários para o estudo do dias de céu claro.

Os dados utilizados para a OC↓ foram obtidos *in situ* na EACF. Os dados para a OC↑, OL↑ foram obtidos através do programa SRB da NASA.

Analisando o albedo, foi verificado que ele é maior nos períodos em que o Sol se encontra mais próximo do horizonte, sendo que seus valores mais frequentes estão abaixo de 0,3, um valor menor do que o encontrado na literatura para a região (0,76).

Os valores encontrados de emissividade da superfície apresentam características de superfícies cobertas de água (0,94-0,98) ou de neve (0,97-0,98), sendo que os valores obtidos estão de acordo com valores da literatura. Analisando a transmissividade nota-se uma variabilidade diária, seguindo o ciclo diário do Sol, com valores maiores no segundo semestre, concentrados no mês de setembro.

No estudo do total diário de radiação solar incidente, a região da EACF, conforme esperado, recebe mais radiação nos meses de verão (dias com maior duração) e menos radiação nos meses de inverno (dias com menor duração), apresentando máximo de $17 \pm 1 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em dezembro e mínimo de $0,37 \pm 0,04 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em junho.

Os valores estimados de radiação solar incidente são condizentes com os valores encontrados na literatura. Segundo King e Turner (1997) a média mensal diária para janeiro para a base Faraday (lat. $65,3^\circ \text{ S}$ e $64,3^\circ \text{ W}$) é de $19 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ e $20 \text{ Jm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em dezembro. Sendo essa base 3° ao sul, ela recebe mais radiação solar no verão do que a EACF.

Essas propriedades serão reanalisadas futuramente, utilizando os dados que estão sendo adquiridos *in situ* pelo projeto ETA.

Agradecimentos: A Bolsa CNPq, PIBIC n^o 123939/2010-0 e ao INCT-APA.

5. Referências

King, J.C., Turner, J., 1997: Antarctic Meteorology and Climatology. Cambridge University Press, Cambridge.

Iqbal, M., 1983: An Introduction to Solar Radiation, Academic Press Canada.

Setzer, A.W., Kayano, M., 2009: Limitações das reanálises para altas latitudes no Hemisfério Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24 (3) 254-261.

6. Outras Atividades

A seguir são descritas outras atividades acadêmicas realizadas durante a vigência da bolsa.

6.1. Disciplinas cursadas no período:

- Física IV – 5,4
- Fundamentos de Oceanografia Física – 7,6
- Meteorologia Física II – 8,4
- Introdução à Química Atmosférica - 8,5
- Tópicos de Matemática Aplicada – 7,2

6.2. Treinamento Pré-Antártico

Participação no Treinamento Pré-Antártico, no período de 31/07/2011 até 06/08/2011, efetuado no CADIM (Centro de Adestramento da Ilha de Marambaia) da Marinha, na Ilha de Marambaia – RJ.

No treinamento aprendemos a desvirar botes enquanto vestidos com a roupa necessária para os trabalhos na Antártica, testes físicos e presenciamos diversas palestras a respeito da Antártica, como sensibilização ambiental, funcionamento da Estação Comandante Ferraz, funcionamento dos Navios de apoio na região, leis que regem a Antártica e aprendemos o melhor modo de nos vestirmos para melhor suportar o clima da região.

6.3. Apresentação de trabalho em simpósio

Inscrição aceita no *XVIII Simpósio Brasileiro sobre pesquisa Antártica*, com o seguinte resumo:

Título: OBSERVATIONAL INVESTIGATION OF THE RADIATION BALANCE AT THE BRAZILIAN ANTARTIC STATION – PRELIMINARY RESULTS

Autoria: Caio Jorge Ruman¹, Jacyra Soares¹, Amauri P. de Oliveira¹, Admir Créso de Lima Targino², Georgia Codato¹

1. Group of Micrometeorology, Department of Atmospheric Science. University of São Paulo, Brazil.

2. Environmental Engineering, Federal Technological University of Paraná, Londrina, Paraná, Brazil

Abstract: Measuring all components of the radiation balance at the surface in Antarctic is important for diagnostic and prognostic studies of climate change and for environmental monitoring. The primary objective of this investigation is to characterize the seasonal and diurnal variation of the radiation balance components at the surface using *in situ* observation at the Comandante Ferraz Brazilian Antarctic Station (EACF), on King George Island (62°05'S, 58°23'W). It will be described in this work the preliminary results obtained from the observations of incoming (OC↓) and reflected (OC↑) global solar radiation and incoming (OL↓) and outgoing (OL↑) long wave radiation at the surface carried out continuously every 15 seconds, between February and July 2011. These measurements were gathered using a pyranometer (model CPM11), pyrgeometer (model CGR3) and a net radiometer (model CNR4) from Kipp-Zonnen. These radiometers were set in the 12 meter tower (South Tower) in the EACF, at 1.85 m (CPM11, CG3) and 3.4 m (CNR4) from the surface. This work is running within the framework of the “Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Antártico de Pesquisas Ambientais (INCT-APA)”.