

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°: 101614/2010-1  
Vigência: 2010/2011

Relatório parcial de atividades de pesquisa de iniciação científica  
Período: Setembro de 2010 a Janeiro de 2011

**Fevereiro de 2011**

**ACA-IAG-USP**

## ÍNDICE

1. Introdução.....	2
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Região e dados de estudo.....	4
1.2.1 Região de estudo.....	4
1.2.2 Dados utilizados.....	4
1.2.2.1 Dados EACF – Estação Antártica Comandante Ferraz.....	4
1.2.2.2 Dados do projeto SRB – Surface Radiation Budget .....	5
1.2.2.3 Resolução dos dados utilizados.....	6
2. Resultados.....	7
2.1. Onda curta incidente na superfície.....	8
2.2. Validação dos dados do <i>SRB</i> .....	9
2.3. Onda curta refletida pela superfície .....	10
2.4. Onda longa emitida pela superfície .....	11
2.5. Onda longa emitida pela atmosfera .....	13
2.6. Balanço de radiação .....	13
3. Conclusão e etapas futuras .....	15
4. Referências .....	16
5. Outras Atividades .....	16
5.1 Disciplinas cursadas no período: .....	16
5.2 Participações em eventos .....	17

## 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 do recém-criado Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártico de Pesquisas Ambientais (INCT-APA) [http://www.cnpq.br/programas/inct/apresentacao/inct\\_pesq\\_amb\\_antartica.html](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.

## 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:

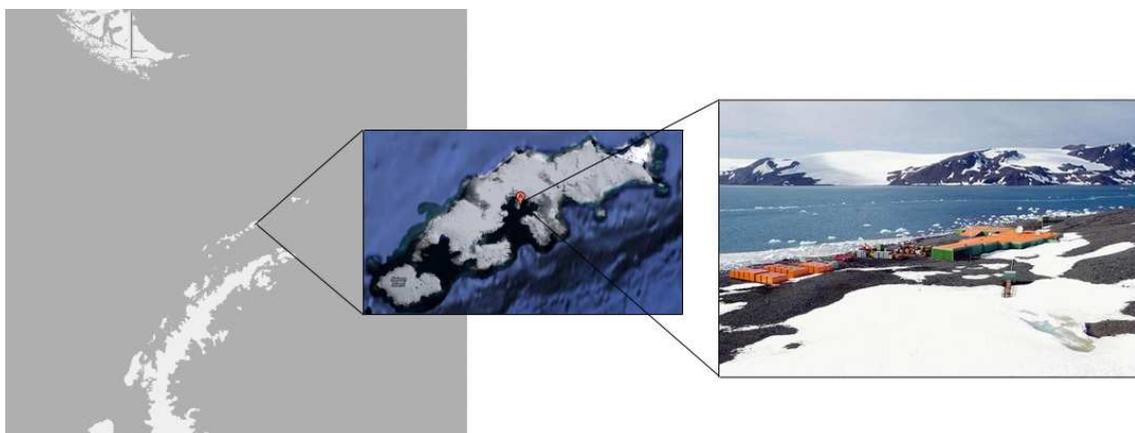
- Estudo das componentes de radiação de onda curta incidente na superfície ( $OC\downarrow$ ) e onda curta refletida pela superfície ( $OC\uparrow$ ) na região da EACF;
- Estudo das componentes de radiação de onda longa emitida pela atmosfera ( $OL\downarrow$ ) e de onda longa emitida pela superfície ( $OL\uparrow$ ) da região da EACF;
- Análise e estudo do balanço de radiação na região da EACF.

## 1.2 Região e dados de estudo

A seguir são descritos a região de estudo e os dados utilizados neste relatório.

### 1.2.1 Região de estudo

Neste relatório foram utilizados dados da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF). Essa estação encontra-se na Ilha Rei George, no Arquipélago das Shetlands do Sul, na Península Antártica ( $62^{\circ}05'07''$  S,  $58^{\circ}23'33''$  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 ( $62^{\circ}05'07''$  S,  $58^{\circ}23'33''$  W).

### 1.2.2 Dados utilizados

A seguir serão descritos os dados utilizados neste trabalho e suas respectivas resoluções.

#### 1.2.2.1 Dados EACF – Estação Antártica Comandante Ferraz

Este trabalho utiliza dados de onda curta incidente na superfície retirados do banco de dados disponível em <http://antartica.cptec.inpe.br/~rantar/weatherdata.shtml>. Esses dados foram obtidos *in situ* pelo projeto “Meteorologia na EACF” do CNPq/PROANTAR, coletados na estação meteorológica situada na estação Antártica Comandante Ferraz.

Os dados correspondem à média de 10 minutos antes da hora exata, num total de 600 medições, uma a cada segundo. Foram utilizados dados dos anos de 1993 até 2009.

Entre 1993 e 1999, a resolução dos dados é de 3 horas. A partir de 2000, a resolução passa a ser de 1 hora.

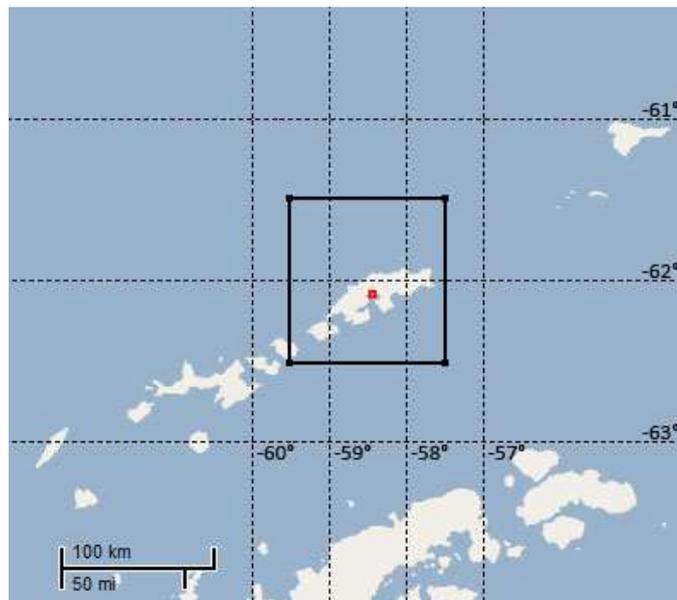
#### **1.2.2.2 Dados do projeto SRB – Surface Radiation Budget**

O SRB (*Surface Radiation Budget*) é um projeto da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), que disponibiliza dados globais de radiação de onda longa e onda curta. Os dados estão disponíveis no endereço [http://eosweb.larc.nasa.gov/PRODOCS/srb/table\\_srb.html](http://eosweb.larc.nasa.gov/PRODOCS/srb/table_srb.html). Os dados utilizados são da versão 3.0 do projeto SRB.

Neste trabalho são utilizados dados de radiação de onda longa incidente na superfície emitida pela atmosfera, onda longa emitida pela superfície, onda curta incidente na superfície e onda curta refletida pela superfície. Foram utilizados dados dos anos de 1993 até 2007. A resolução temporal dos dados é de 3 horas.

Para extrair os dados, é necessário um cadastro no site e depois selecionar o período desejado dos dados correspondentes e fazer *download* dos arquivos. Os arquivos são muito grandes, já que possuem dados de todo o globo. Não é possível extrair somente os dados da região desejada. Assim o processo de obtenção dos dados é bastante demorado.

Os arquivos são disponibilizados em forma binária e é necessário transformá-los em arquivos do tipo ASCII e separar o ponto de grade da região desejada. Esse procedimento é feito utilizando um programa na linguagem FORTRAN. Uma versão de exemplo do programa vem junto com os dados extraídos, e é necessária uma modificação no programa para extrair os dados da região desejada.



**Figura 2:** A área dentro do retângulo corresponde à região de grade dos dados utilizados do *SRB*. O branco corresponde às áreas de terra firme. Em vermelho a localização da *EACF*.

Na região de estudo, a grade dos dados do *SRB* é formada por 1 grau de latitude e 2 graus de longitude, conforme demonstrado na figura 2. Na região de grade do *SRB*, somente 20% da área corresponde a terra firme. Os outros 80% correspondem ao oceano.

### 1.2.2.3 Resolução dos dados utilizados

Segue na tabela 1 um resumo dos dados utilizados no projeto.

Parâmetro	Símbolo	Fonte	Posição geográfica	Período	Resolução
Onda curta incidente	OC↓	EACF	(62°05'07"S, 58°23'33"W)	1993-2009	3 horas para 1993-1999 1 hora para 2000-2009
Onda curta refletida	OC↑	SRB	(62°S, 58°W)	1993-2007	3 horas
Onda longa emitida pela atmosfera	OL↓	SRB	(62°S, 58°W)	1993-2007	3 horas
Onda longa emitida pela superfície	OL↑	SRB	(62°S, 58°W)	1993-2007	3 horas

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

## 2. Resultados

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

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.

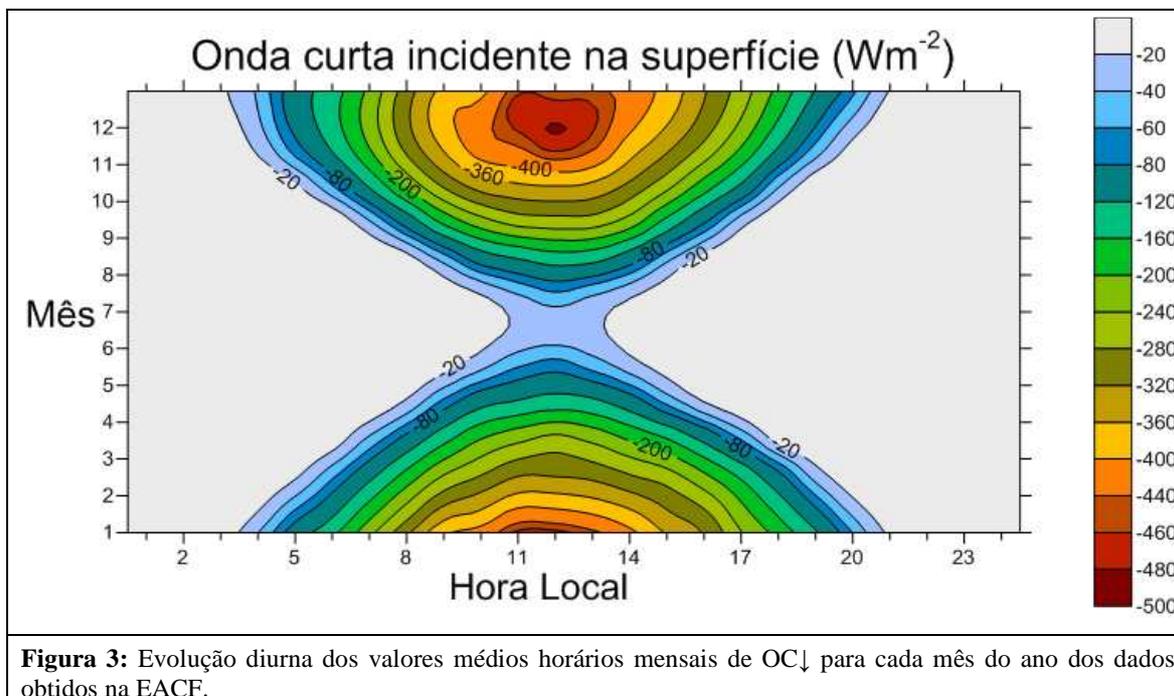
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
18h28min	15h39min	12h40min	9h40min	6h55min	5h16min
Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
6h06min	8h37min	11h31min	14h33min	17h34min	19h33min

**Tabela 2:** 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.

## 2.1. Onda curta incidente na superfície

Na figura 3 é apresentada a evolução diurna dos valores médios mensais de  $OC\downarrow$  para cada mês do ano dos dados obtidos na EACF. Os valores horários estão em hora local (GMT-4).



**Figura 3:** Evolução diurna dos valores médios horários mensais de  $OC\downarrow$  para cada mês do ano dos dados obtidos na EACF.

Tendo em vista a localização geográfica da EACF ( $62^{\circ}05'07''S$ ,  $58^{\circ}23'33''W$ ), região de alta latitude e próxima do círculo polar Antártico, os valores de radiação de onda curta incidente apresentam valores baixos no inverno (dias curtos) e valores relativamente mais altos no verão (dias longos). Verifica-se que o pico de radiação ocorre às 12h (hora local), com os meses quentes (Nov, Dez, Jan) recebendo mais  $OC\downarrow$  e os meses frios (Jun, Jul) recebendo menos.

Em dezembro e novembro ocorrem picos de radiação em torno das 12h, com um valor médio máximo de  $470 \pm 12 Wm^{-2}$ . Em junho os maiores valores ocorrem entre 11h e 14h, e não ultrapassam  $30 \pm 1 Wm^{-2}$ . Nos meses intermediários, primavera e outono, os valores são parecidos, em torno de  $275 Wm^{-2}$ .

## 2.2. Validação dos dados do SRB

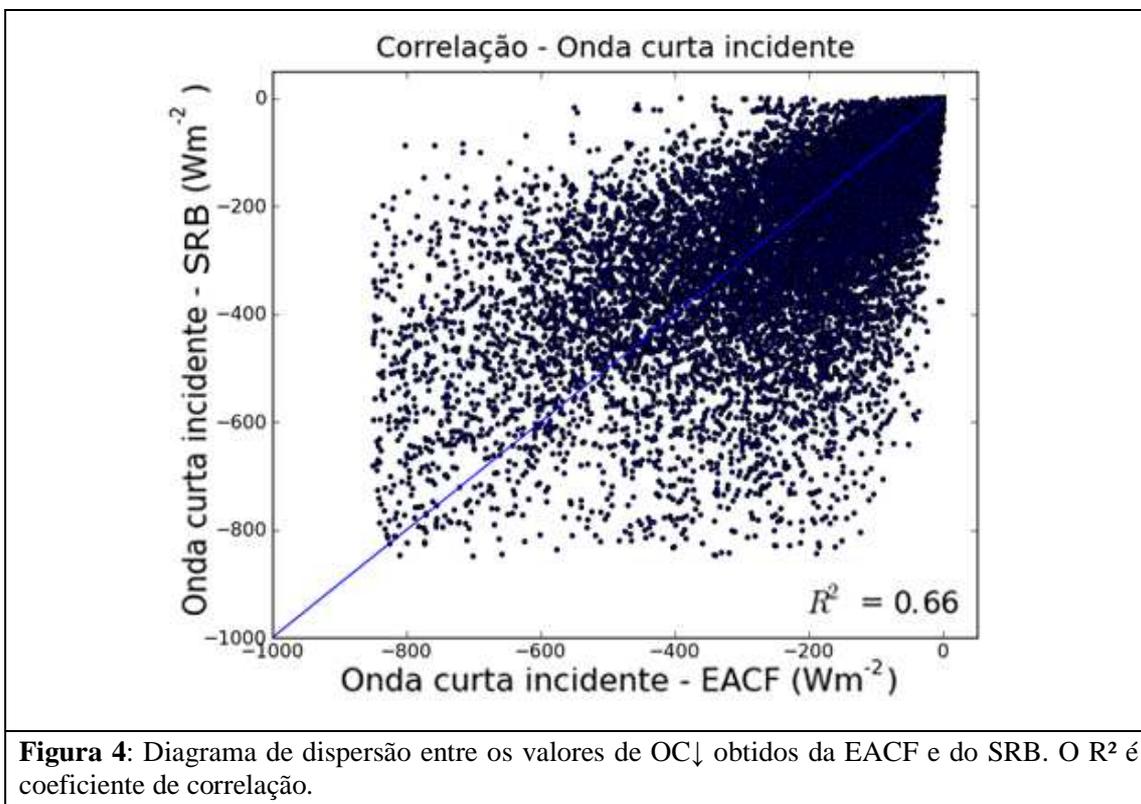
Objetivando investigar a validade dos dados do SRB e sua relação com os dados coletados *in situ* na EACF é estimado o coeficiente de correlação entre esses dados (Figs 4 e 5).

O coeficiente de correlação foi calculado usando (Chatfield, 1996):

$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$	(1)
--	-----

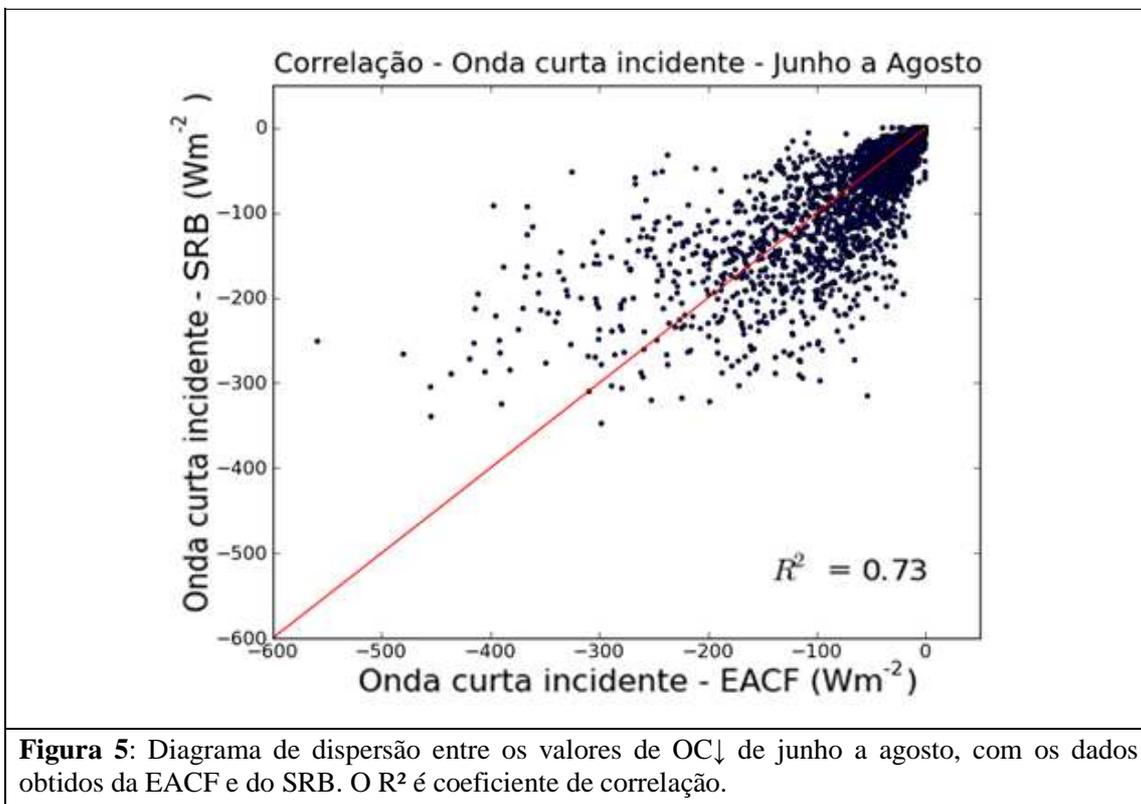
Onde  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  é a média dos valores a serem correlacionados, x e y.

Na figura 4, apresenta dados de OC↓ coletados, em horários simultâneos, *in situ* na EACF e pelo SRB, durante 1993 e 2007. O valor do coeficiente de correlação obtido pela correlação entre esses dados não é muito grande ( $R^2 = 0,66$ ). Um dos motivos desse valor de correlação pode ser devido, provavelmente, à grande variação existente na radiação de onda curta incidente no período de verão.



**Figura 4:** Diagrama de dispersão entre os valores de OC↓ obtidos da EACF e do SRB. O  $R^2$  é coeficiente de correlação.

Para verificar essa hipótese foram usados dados de  $OC_{\downarrow}$  obtidos somente no período em que radiação apresenta uma variação relativamente menor, de junho a agosto. Quando somente os dados de  $OC_{\downarrow}$  de inverno são considerados (Fig. 5), o coeficiente de correlação apresenta um aumento da ordem de 10% ( $R^2 = 0,73$ ).

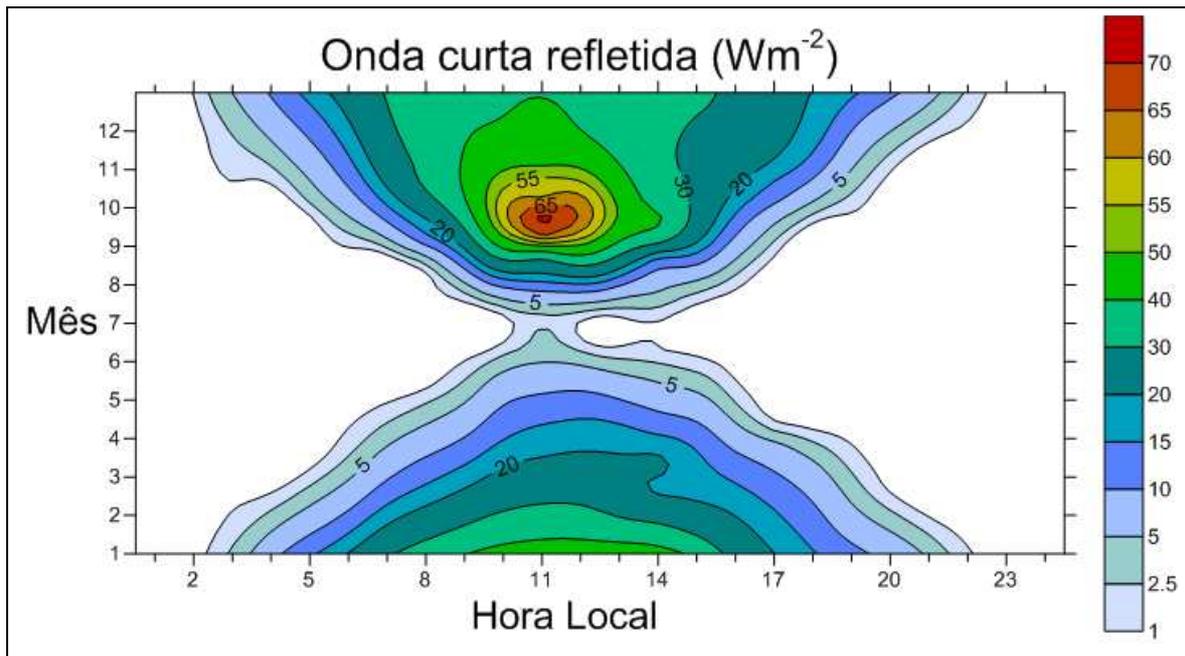


**Figura 5:** Diagrama de dispersão entre os valores de  $OC_{\downarrow}$  de junho a agosto, com os dados obtidos da EACF e do SRB. O  $R^2$  é coeficiente de correlação.

Apesar da área relativamente grande coberta pelos dados do SRB ( $1^{\circ} \times 2^{\circ}$ ) e a grande variação horária existente na radiação de onda curta incidente na superfície, podemos concluir que os dados de  $OC_{\downarrow}$  do SRB e da EACF estão razoavelmente correlacionados, e dessa forma usaremos os dados de  $OC_{\uparrow}$ ,  $OL_{\downarrow}$  e  $OL_{\uparrow}$  do SRB.

### 2.3. Onda curta refletida pela superfície

Na figura 6 é apresentada a evolução diurna dos valores médios horários mensais de  $OC_{\uparrow}$  para cada mês do ano dos dados extraídos do SRB. Os valores horários estão em hora local (GMT-4).



**Figura 6:** Evolução diurna dos valores médios horários mensais de  $OC\uparrow$  para cada mês do ano dos dados extraídos do *SRB*.

A resolução dos dados do *SRB* são de 3 horas, começando as 02h00.

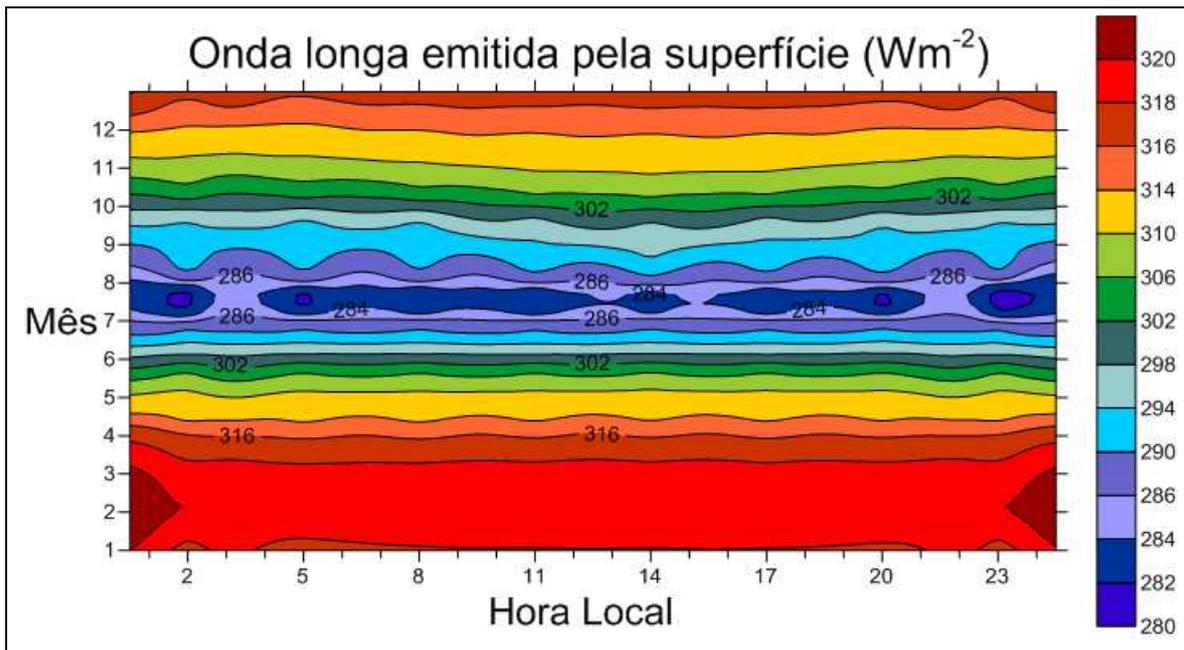
Os valores de  $OC\uparrow$  variam conforme a duração do dia, de maneira similar à  $OC\downarrow$  (Fig. 6) e possuem um pico de radiação entre as 11h e às 14h (hora local), sendo que o mês de setembro apresenta o maior pico de  $OC\uparrow$  ( $69 \text{ Wm}^{-2}$ ) e o mês de junho os menores valores (menor do que  $3 \text{ Wm}^{-2}$ ). O pico de  $OC\uparrow$  observado em setembro pode ser devido a combinação entre a inclinação solar e a cobertura de gelo na região. A partir de setembro a incidência de  $OC\downarrow$  aumenta (Fig. 3) mas a região ainda está coberta por uma camada de gelo, que possui um albedo alto. Esse pico em setembro será melhor investigado no próximo período.

#### 2.4. Onda longa emitida pela superfície

A radiação de onda longa emitida pela superfície depende principalmente da temperatura ( $T$ ) e da emissividade ( $\epsilon$ ) da superfície e obedece a seguinte equação:

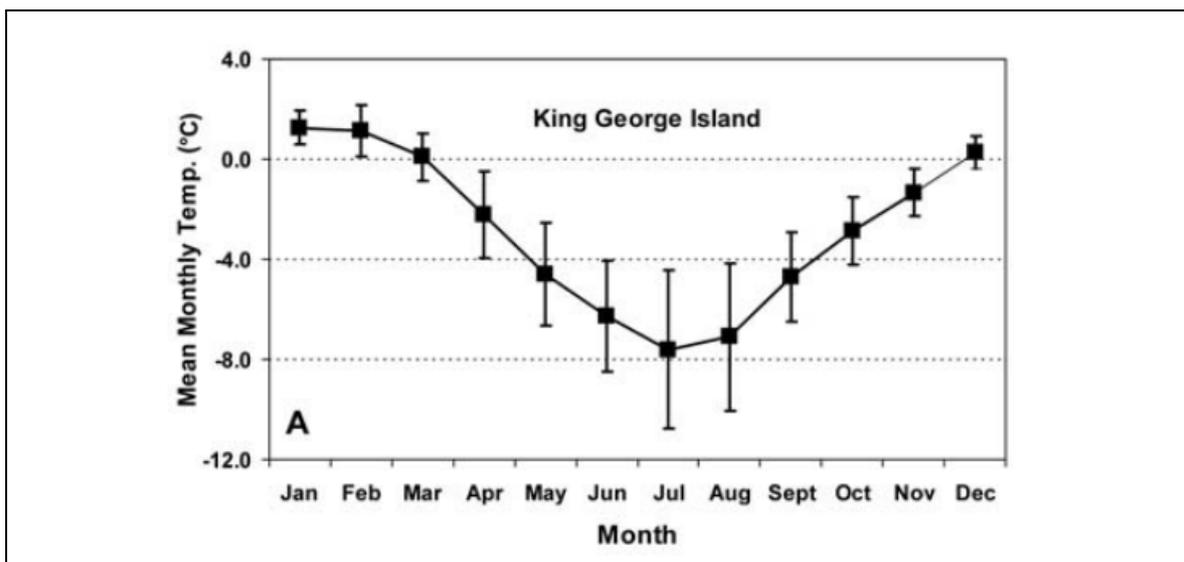
$$OL \uparrow = \epsilon\sigma T^4 \quad (2)$$

Onde  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzman ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ).



**Figura 7:** Evolução diurna dos valores médios mensais de  $\text{OL}\uparrow$  para cada mês do ano dos dados extraídos do *SRB*.

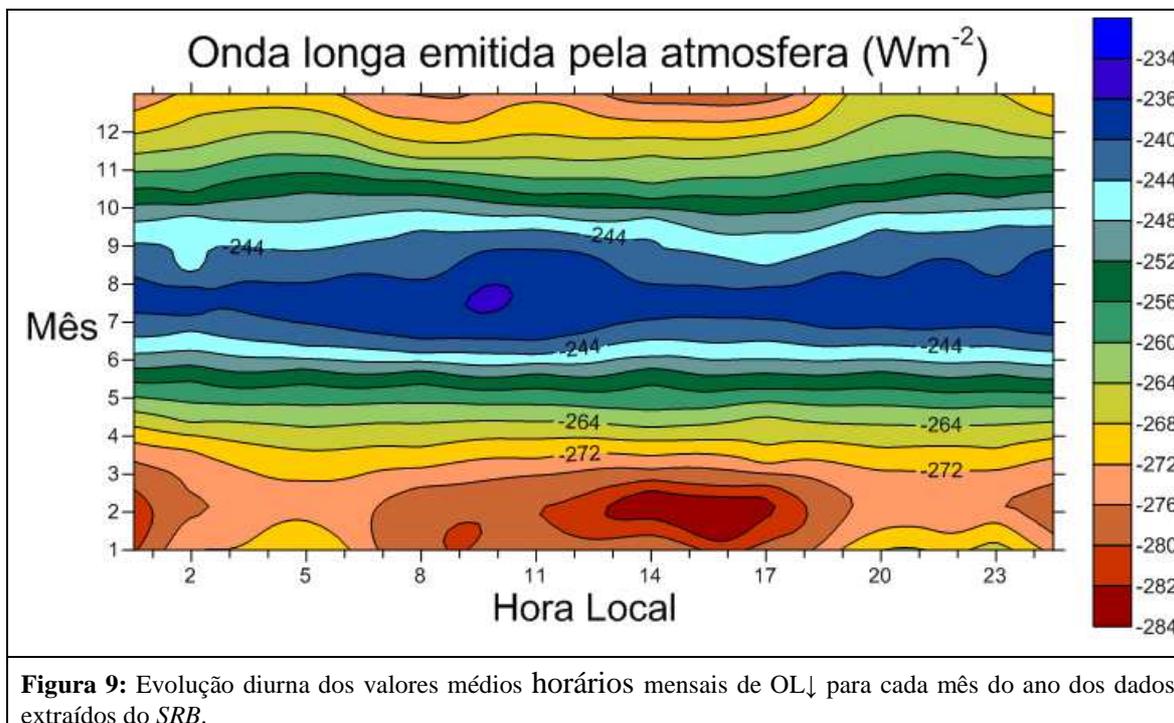
A evolução diurna dos valores horários médios mensais de  $\text{OL}\uparrow$  apresenta pouca variação, permanecendo praticamente constante ao longo de um dia, refletindo a pequena variação de temperatura do ar na região. Observando a Figura 8 (Ferron *et al*, 2004), que mostra a temperatura mensal média na região da EACF, vemos pelas barras correspondentes ao desvio padrão, que a variação de temperatura é maior no inverno. Essa maior variação no inverno está presente na Figura 7.



**Figura 8:** Temperatura média mensal na região da EACF (Ilha do Rei George). As barras verticais correspondem ao desvio padrão. (Ferron *et al.*, 2004)

## 2.5. Onda longa emitida pela atmosfera

Na figura 9 é apresentada a evolução diurna dos valores médios horários mensais de  $OL_{\downarrow}$  para cada mês do ano dos dados extraídos do SRB. Os valores horários estão em hora local (GMT-4).



**Figura 9:** Evolução diurna dos valores médios horários mensais de  $OL_{\downarrow}$  para cada mês do ano dos dados extraídos do SRB.

Os valores de onda longa emitida pela atmosfera dependem principalmente da temperatura, do vapor d'água, dióxido de carbono, ozônio e outros constituintes menores como o monóxido de carbono, óxido nítrico, metano e óxido nítrico (Coulson, 1975) e da cobertura de nuvens.

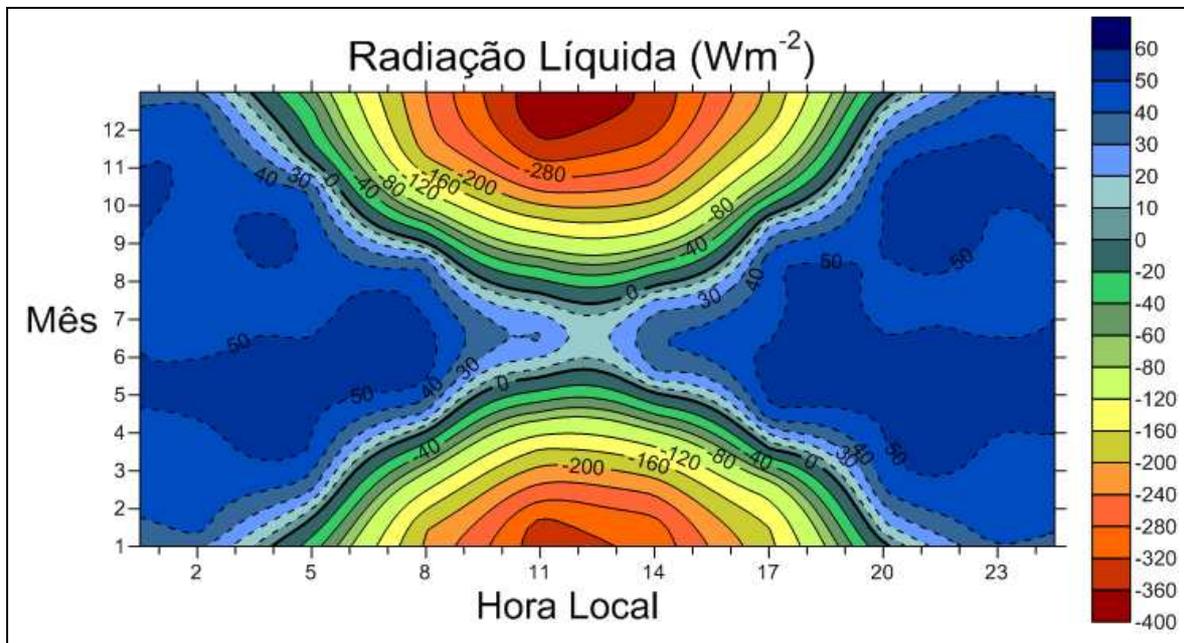
A evolução diurna dos valores médios horários mensais de onda longa emitida pela atmosfera ( $OL_{\downarrow}$ ) apresenta pouca variação durante o dia (Fig. 9). De março a outubro não há uma variação diurna significativa dos valores de  $OL_{\downarrow}$ . A variação horária que aparece no período de novembro a março pode ser explicada por uma variação maior na cobertura de nuvens e do vapor d'água.

## 2.6. Balanço de radiação

A radiação líquida ( $R_n$ ) foi obtida pela soma das componentes de radiação de onda curta e onda longa:

$$R_n = OC \downarrow + OC \uparrow + OL \downarrow + OL \uparrow \quad (3)$$

Na figura 10 é apresentada a evolução diurna da radiação líquida horária para cada mês do ano.



**Figura 10:** Evolução diurna da radiação líquida na região da EACF. Linhas pontilhadas indicam balanço de radiação positivo (superfície perde energia) e linhas contínuas balanço de radiação negativo (superfície ganha energia).

Analisando a figura 10, pode-se observar que durante uma parte de Maio, durante Junho inteiro e uma parte de Julho, o balanço de radiação é positivo durante todo o dia, ou seja, a atmosfera é sempre mais fria que a superfície, e ocorre perda de energia na superfície da região. Durante os outros meses do ano, o balanço de energia é negativo no período diurno.

### 3. Conclusão e etapas futuras

Neste relatório foi apresentada a análise das componentes do balanço de radiação na região da EACF.

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.

Os dados utilizados para a  $OC\downarrow$  foram obtidos *in situ* na EACF. Os dados para a  $OC\uparrow$ ,  $OL\uparrow$  e  $OL\downarrow$  foram obtidos através do programa SRB da NASA.

A correlação entre os dados da EACF e do SRB mostrou que os dados são correlacionados, com uma correlação maior no inverno, pois no verão a variação dos dados é maior.

Com a base de dados de radiação organizada, foram calculados os valores horários médios mensais, que foram utilizados para gerar os gráficos de contorno (figuras 3, 6, 7, 9 e 10).

Na tabela abaixo são indicados os valores médios mensais absolutos máximos e mínimos de  $OC\downarrow$ ,  $OC\uparrow$ ,  $OL\downarrow$  e  $OL\uparrow$ . Os valores máximos ocorrem no verão, menos o valor máximo de  $OC\uparrow$ , que ocorre em Setembro. Os valores mínimos ocorrem no inverno.

	<b>Max.</b>	<b>Min.</b>
<b><math>OC\downarrow</math> EACF (<math>W\ m^{-2}</math>)</b>	473±12	29 ±1
<b><math>OC\uparrow</math> SRB (<math>W\ m^{-2}</math>)</b>	70±1	1±1
<b><math>OL\downarrow</math> SRB (<math>W\ m^{-2}</math>)</b>	277±1	238±1
<b><math>OL\uparrow</math> SRB (<math>W\ m^{-2}</math>)</b>	319±1	282±1

**Tabela 3:** Valores médios mensais absolutos máximos e mínimos para  $OC\downarrow$ ,  $OC\uparrow$ ,  $OL\downarrow$  e  $OL\uparrow$  na região da EACF.

A radiação de onda curta incidente ( $OC\downarrow$ ) possui uma variação muito grande entre máximo e mínimo, pois a região da EACF se situa numa região de alta latitude e por conseqüência baixa incidência de luz solar no inverno.

Já a componente de radiação de onda longa emitida pela atmosfera ( $OL\uparrow$ ) varia pouco durante o ano, devido à pequena variação de temperatura do ar na região estudada.

No estudo do balanço de radiação (figura 10), verificou-se que a região de estudo perde energia durante parte do mês de maio, todo o mês de junho e parte do mês de julho, enquanto que nos outros meses do ano a perda de energia só ocorre no período noturno. A região possui maior ganho de energia no mês de dezembro e maior perda no mês de junho.

Futuramente serão analisadas as propriedades radiométricas da região, da atmosfera (transmissividade) e da superfície (albedo e emissividade).

#### **4. Referências**

Chatfield, C., 1996: *The Analysis on Time Series – An Introduction*. 5<sup>th</sup> edition. Chapman & Hall, New York.

Coulson, K.L., 1975: *Solar and Terrestrial Radiation – Methods and Measurements*. Academic Press, London.

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.

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

#### **5. Outras Atividades**

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

##### **5.1 Disciplinas cursadas no período:**

- Física III – 6,7
- Física experimental III – 8,2
- Cálculo Diferencial e Integral IV – 7,9
- Meteorologia Física 1 - 9,1
- Introdução às Equações Diferenciais Ordinárias e Aplicações – 8,1

## 5.2 Participações em eventos

- Participação no XV Simpósio de Iniciação Científica do IAG, com apresentação de trabalho em painel.

Ruman, C. J. e Soares, J: 2010: Evolução Sazonal das componentes do balanço de radiação na superfície da região Antártica. Anais do XV Simpósio de Iniciação Científica do IAG/USP.

- Participação no programa *Santander TOP Brazil-UK Study Abroad* na University of Edinburgh durante o período de 15/10/2010 à 29/10/2010.

## Anexo 1



## Anexo 2



INTERNATIONAL OFFICE  
The University of Edinburgh  
57 George Square  
Edinburgh EH8 9JU  
Scotland UK

Telephone +44(0)131 242 2697  
Fax +(0)131 242 6441  
Email: International @ed.ac.uk  
www. ed.ac.uk/edinburgh-global

8 November 2010

Dear Sir/Madam,

**Re: Confirmation of Study Period**

Student: Caio Jorge Ruman  
Date of Birth: 03/10/1982  
Home University: USP  
Course: Santander TOP Brazil-UK  
Period of Study: 15 October 2010 – 29 October 2010

I write to confirm that the above named student was registered as a full-time student on Banco Santander's *TOP Brazil-UK Study Abroad Programme* at University of Edinburgh from 15 October 2010 to 29 October 2010.

The *TOP Brazil-UK Study Abroad Programme* was designed to give high achieving Brazilian students a chance to experience academic life in the UK. This programme allows students registered at Brazilian universities the opportunity to study at University of Edinburgh on a sponsored scholarship basis. Students on this programme remain degree-seeking students at their home university.

If you require any further information please do not hesitate to contact me.

Yours sincerely

Professor Stephen G Hillier,  
Vice Principal International