

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

Relatório de atividades  
Período: Fevereiro de 2010 a Agosto de 2010

**Agosto de 2010**

**ACA-IAG-USP**

## ÍNDICE

1. Introdução .....	2
<u>1.1</u> Objetivos.....	3
<u>1.2</u> Região e dados de estudo.....	4
<u>1.2.1</u> Região de estudo.....	4
<u>1.2.2</u> Dados utilizados .....	4
<u>1.2.2.1</u> Dados EACF – Estação Antártica Comandante Ferraz.....	4
<u>1.2.2.2</u> Dados do projeto SRB – Surface Radiation Budget.....	4
2. Resultados.....	5
<u>2.1.</u> Onda curta incidente na superfície .....	5
<u>2.2.</u> Onda longa emitida pela atmosfera .....	14
<u>2.3.</u> Onda longa emitida pela superfície .....	17
3. Discussão.....	20
4. Conclusão .....	20
5. Referências .....	21
6. Outras Atividades .....	22
<u>6.1</u> Disciplinas cursadas no período: .....	22

## 1. Introdução

A região Antártica não só exporta sinais climáticos, afetando o clima global, mas também importa sinais climáticos globais, sofrendo suas consequências. 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:

- Aperfeiçoamento da linguagem de programação FORTRAN;
- Estudo das componentes de radiação de onda curta ( $OC_{\downarrow}$ ) da região da EACF;
- Estimar os valores médios e os respectivos erros estatísticos da radiação de  $OC_{\downarrow}$  na região, no período dos dados utilizados;
- Estudo das componentes de radiação de onda longa emitida pela atmosfera ( $OL_{\downarrow}$ ) e de radiação de onda longa emitida pela superfície ( $OL_{\uparrow}$ ) da região da EACF;
- Estimar os valores médios e os respectivos erros estatísticos da radiação de  $OL_{\uparrow}$  e  $OL_{\downarrow}$  da região, no período dos dados utilizados.

## **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°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).

### **1.2.2 Dados utilizados**

#### **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 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 da NASA**

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 e onda curta incidente. 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.

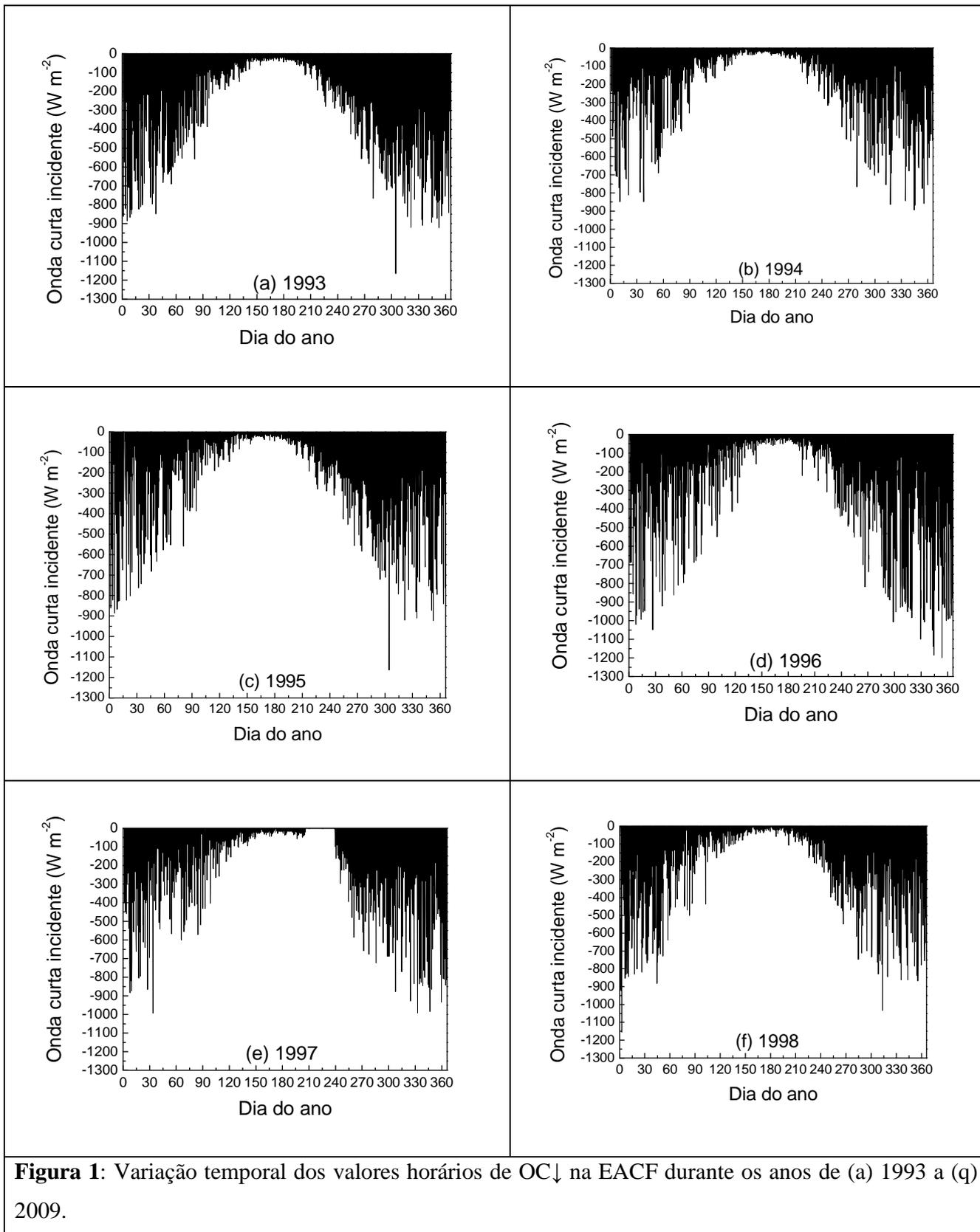
Os arquivos são disponibilizados em forma binária e é necessário transformá-los em arquivos do tipo ASCII e separar o ponto de grade da região desejada. Esse procedimento é feito utilizando um programa na linguagem FORTRAN. Uma versão de exemplo do programa vem junto com os dados extraídos, e é necessária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

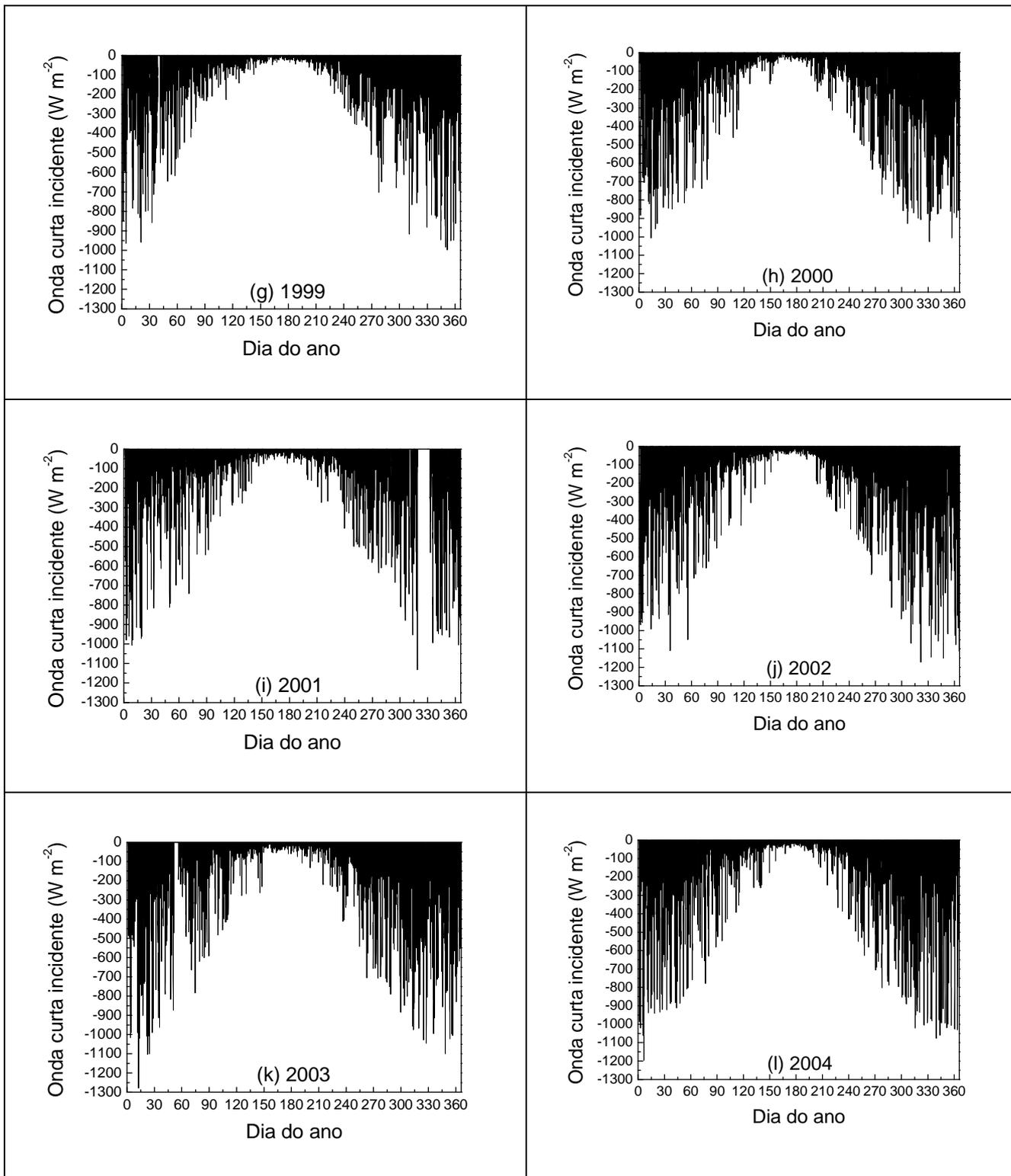
## **2. Resultados**

Neste trabalho, os valores de radiação de onda curta incidente na superfície ( $OC\downarrow$ ) e onda longa incidente na superfície 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 ( $OL\uparrow$ ) foram considerados positivos, por estarem orientados no sentido do referencial utilizado.

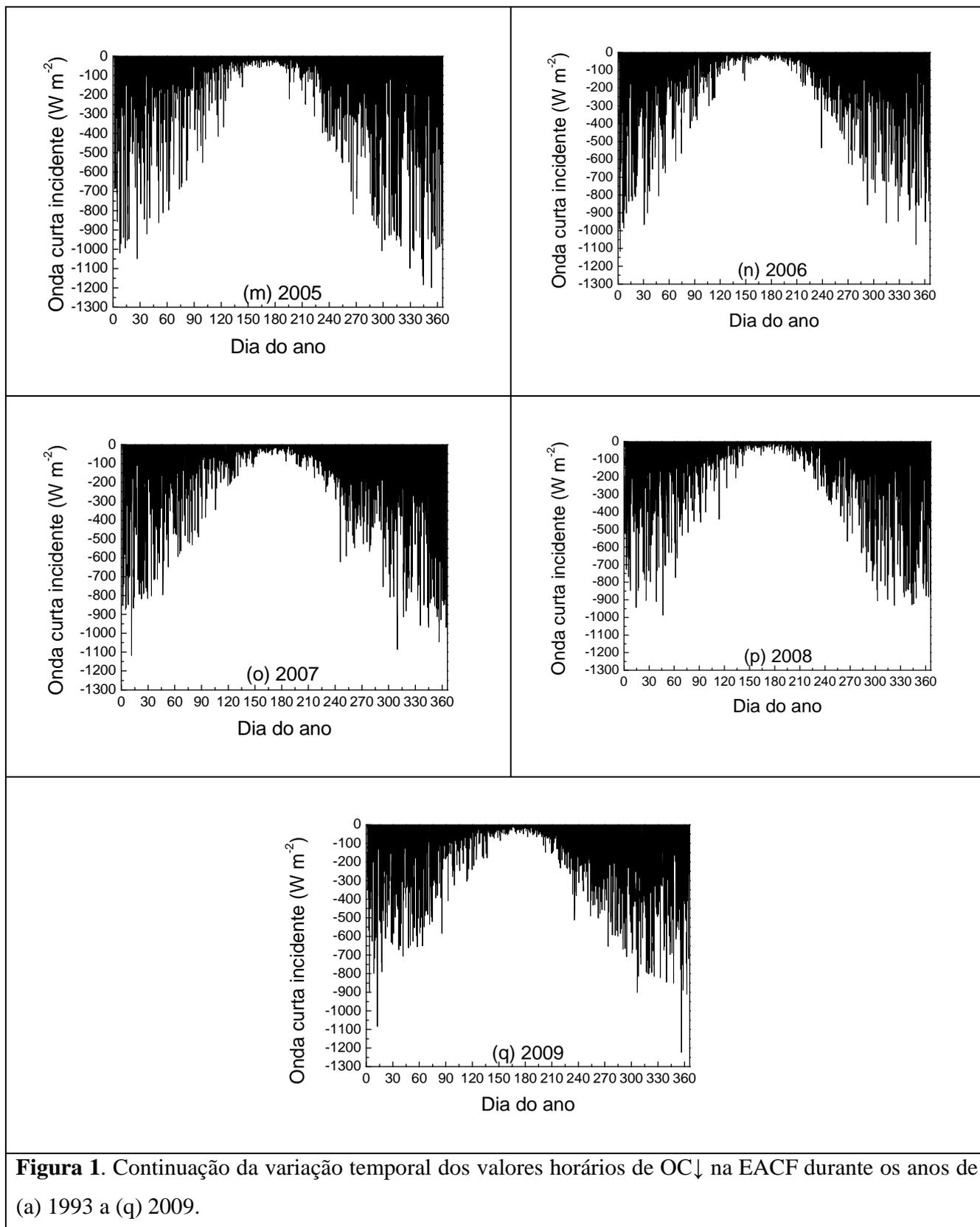
### **2.1. Onda curta incidente na superfície**

A Figura 1 apresenta a variação temporal de  $OC\downarrow$  para o período de 1993 a 2009. Os dados foram utilizados na sua resolução original, 3 horas para o período de 1993-1999, e 1 hora para o período 2000-2009.





**Figura 1.** Continuação da variação temporal dos valores horários de OC↓ na EACF durante os anos de (a) 1993 a (q) 2009.



Tendo em vista a localização geográfica da EACF (62°05'07"S, 58°23'33"W), região de alta latitude e próxima do círculo polar Antártico, os valores de radiação de onda curta incidente variam conforme a duração do dia (Fig. 1), ou seja, valores baixos no inverno (dias curtos) e valores relativamente mais altos no verão (dias longos). Os picos de radiação (Fig. 1) indicam ausência de nuvens. Os períodos em branco nos anos de 1997, 2001 e 2003 correspondem a períodos sem dados.

Na Figura 2 são apresentados a variação diurna dos valores horários médios mensais da OC↓ e os erros estatísticos, para cada mês do ano. Os valores horários estão em hora local (GMT-4).

A média foi considerada como:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

onde  $n$  é o número total de dados utilizados para o horário, no caso em que não existe buracos na série  $n$  é igual ao número de dias do mês vezes o número de anos de observação, 17, e  $x_i$  é o valor horário de OC↓.

O desvio padrão foi calculado como (Helene e Vanin, 2004):

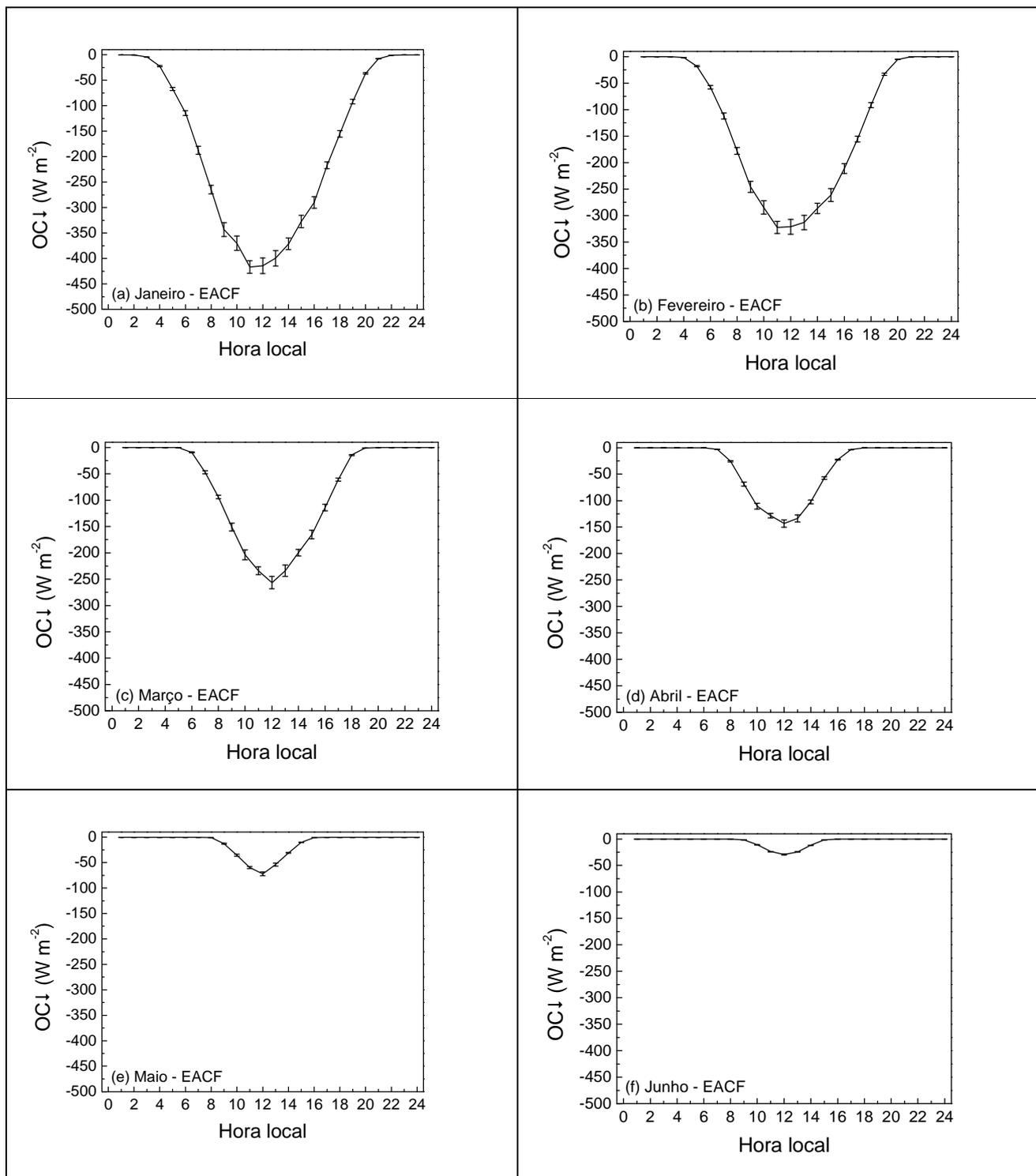
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

onde  $n$  é o número total de dados utilizados para o horário,  $x_i$  é o valor horário de OC↓ e  $\bar{x}$  é o valor horário médio mensal calculado por meio da expressão (1).

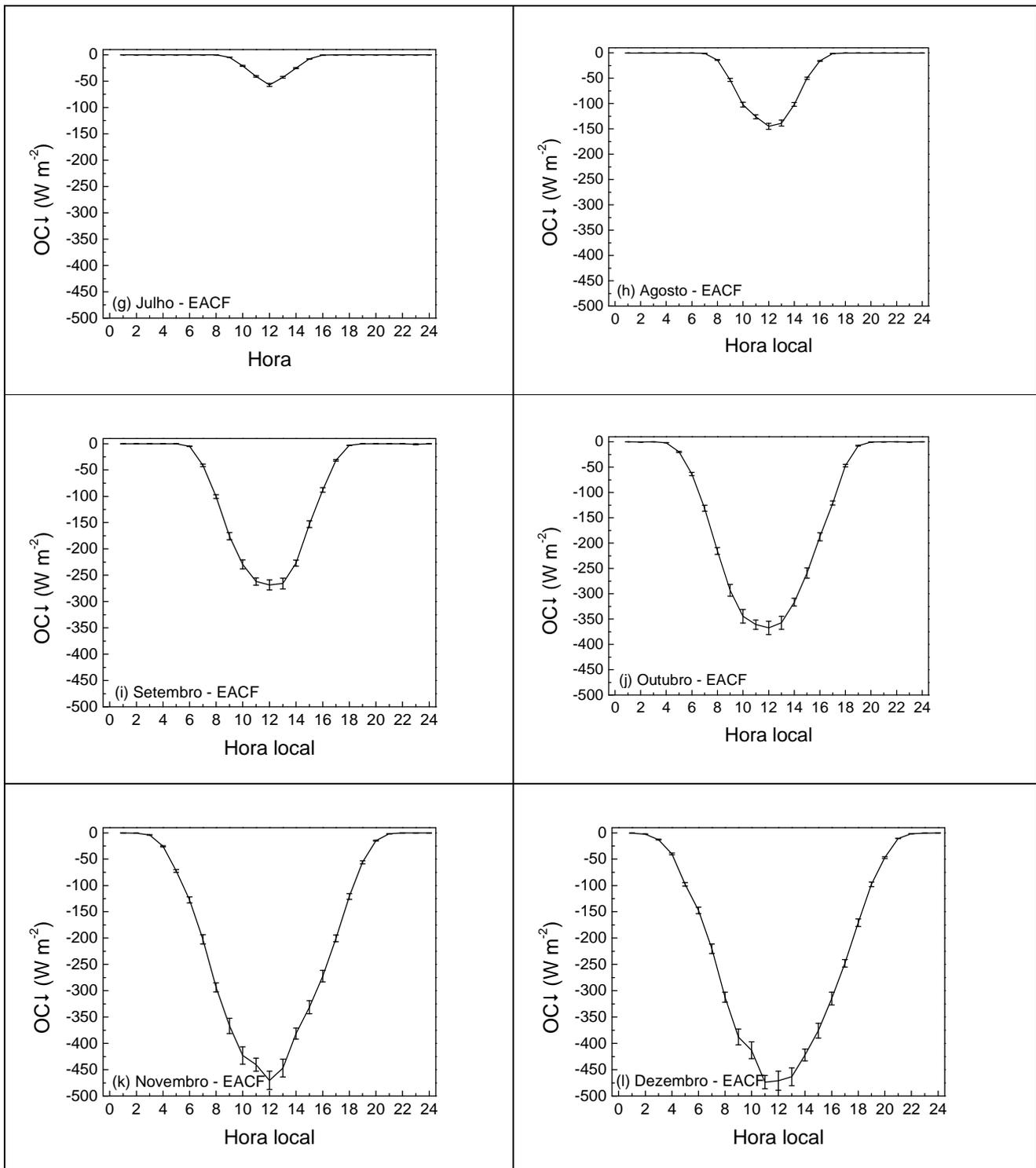
O erro estatístico foi calculado como:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

onde  $n$  é o número total de dados utilizados e  $\sigma$  é o desvio padrão.



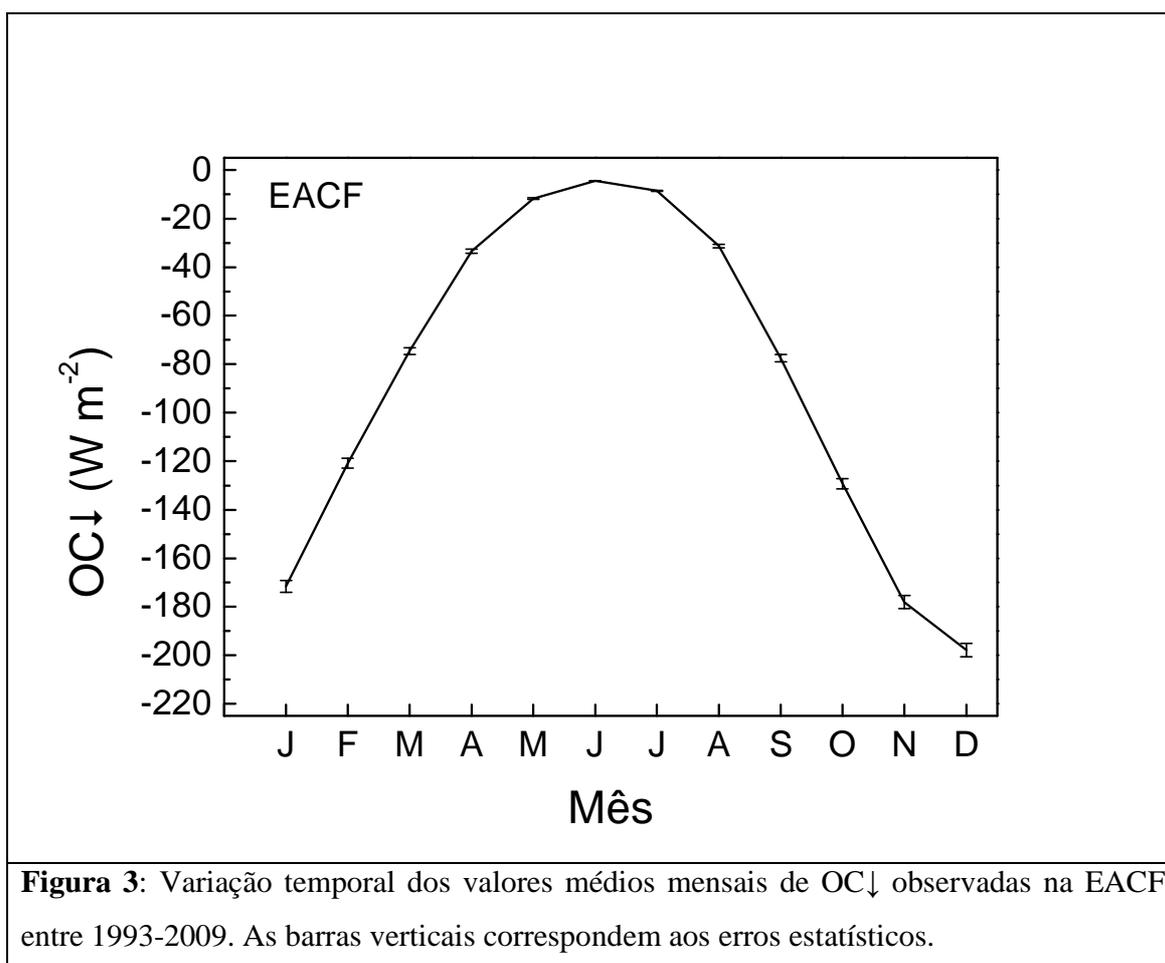
**Figura 2:** Evolução diurna dos valores horários médios mensais da  $OC\downarrow$  na EACF. Base de dados: 1993-2009.



**Figura 2:** Continuação da evolução diurna dos valores horários médios mensais da  $OC\downarrow$  na EACF. Base de dados: 1993-2009

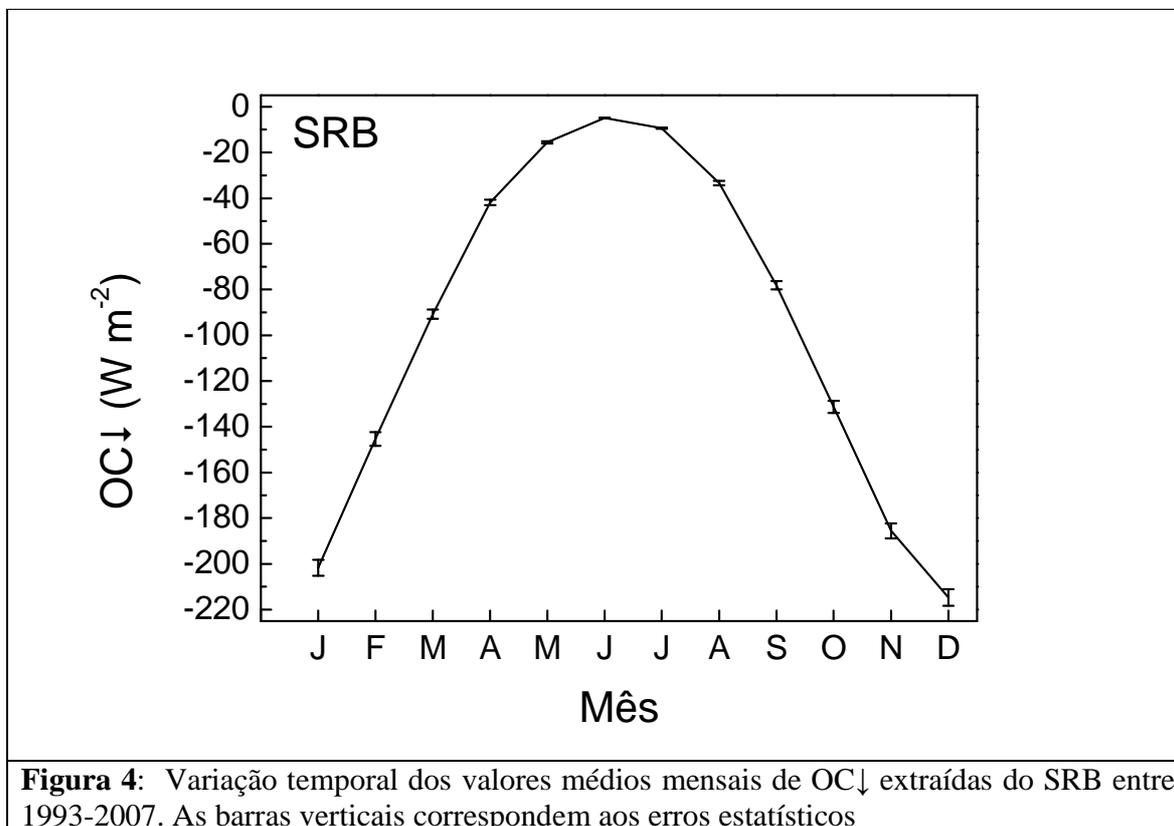
Analisando a evolução diurna dos valores horários médios mensais da  $OC\downarrow$  na EACF, verifica-se que o pico de radiação ocorre as 12 HL (hora local), sendo o mês de dezembro aquele de maior incidência de  $OC\downarrow$  ( $-473\pm 12 \text{ W m}^{-2}$ ) e o mês de junho o de menor incidência de  $OC\downarrow$  ( $-29 \pm 1 \text{ W m}^{-2}$ ).

Na figura 3 é apresentado a variação temporal dos valores médios mensais de  $OC\downarrow$  e o erro estatístico utilizando os dados medidos na EACF para o período de 1993-2009.



Analisando a figura 3, observa-se que os dados seguem o que foi observado na figura 1, com maior incidência de  $OC\downarrow$  no verão ( $-198\pm 3 \text{ W m}^{-2}$ ) e menor incidência no inverno ( $-5\pm 1 \text{ W m}^{-2}$ ).

Na figura 4 são apresentados a variação temporal dos valores médios mensais de  $OC\downarrow$  e o erro estatístico utilizando os dados extraídos do SRB para o período de 1993-2007.



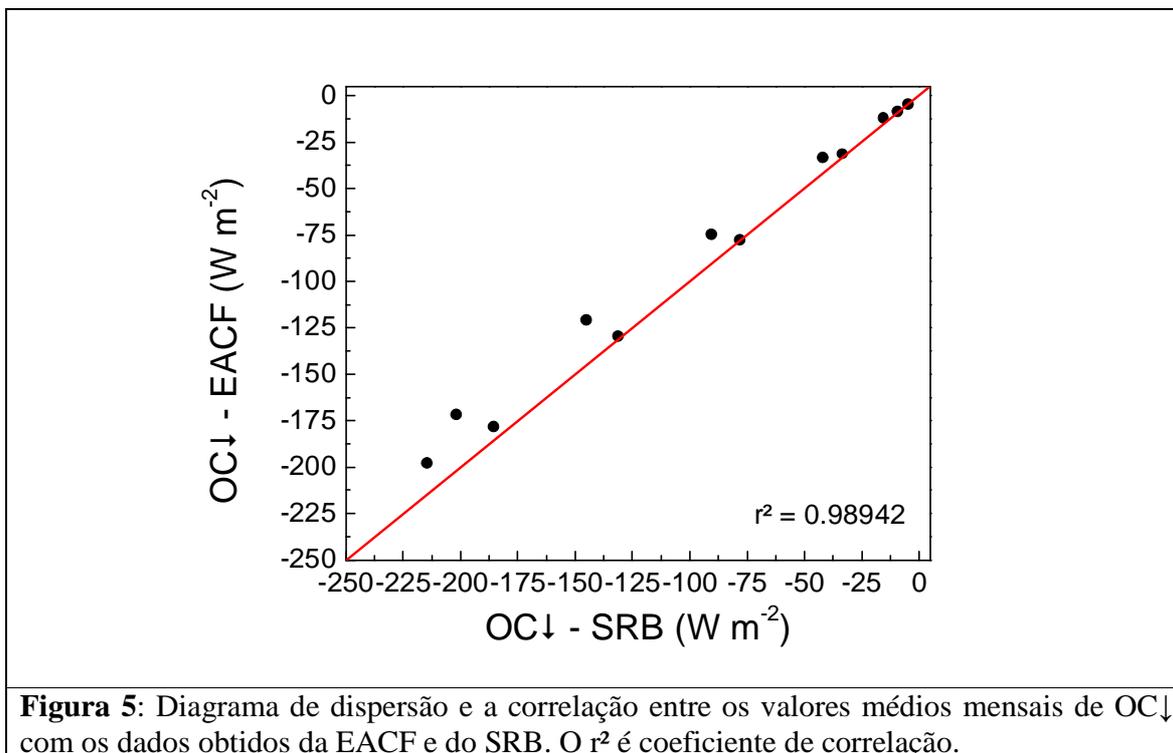
A figura 4 serve para a comparação dos dados do SRB com os dados medidos na EACF. Essa comparação foi feita para verificar se os dados obtidos a partir do projeto SRB são compatíveis com os dados medidos na EACF. Caso esta hipótese se confirme serão utilizados os dados de onda longa emitidos pela atmosfera e pela superfície do projeto SRB para representar estas variáveis na EACF.

Na figura 5 são apresentados os valores da Fig. 3 ( $OC\downarrow$  EACF) e os valores da Fig. 4 ( $OC\downarrow$  SRB) e o coeficiente de correlação.

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

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

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



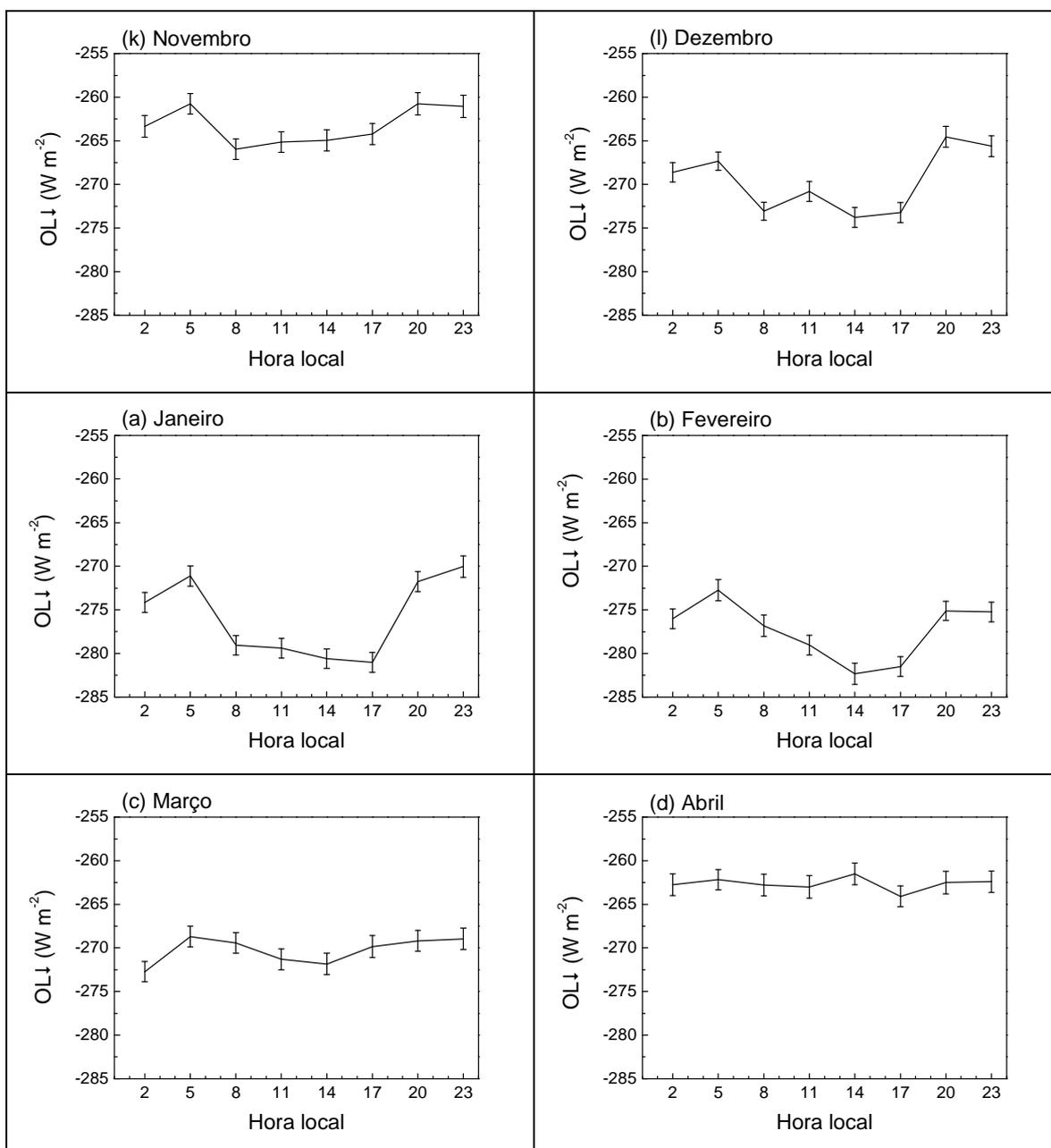
**Figura 5:** Diagrama de dispersão e a correlação entre os valores médios mensais de  $OC\downarrow$  com os dados obtidos da EACF e do SRB. O  $r^2$  é coeficiente de correlação.

Analisando a figura 5 e o coeficiente de correlação  $r^2 = 0.98942$ , pode-se concluir que os dados da EACF e do projeto SRB são altamente relacionados. Com base neste resultado os dados de onda longa obtidos através do projeto SRB serão utilizados para representar a evolução temporal destas propriedades no EACF.

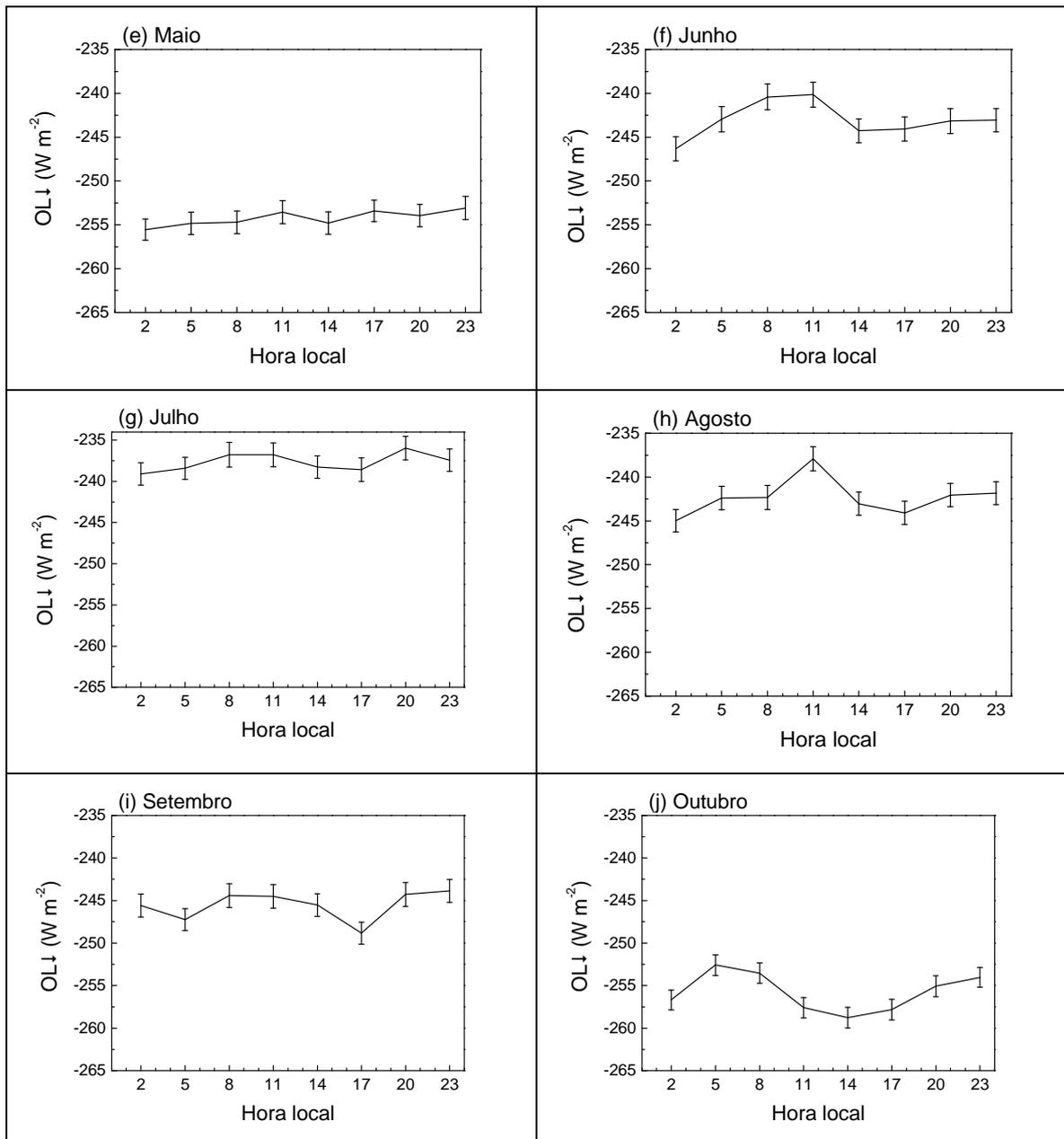
## 2.2. Onda longa emitida pela atmosfera

Na figura 6 são apresentadas as evoluções diurnas dos valores horários médios mensais de  $OL\downarrow$  para cada mês do ano utilizando os dados do projeto SRB. Os valores horários estão indicados em função da hora local (GMT-4).

Tendo em vista que a radiação de OL não é observada na EACF optou-se em utilizar os dados extraídos do SRB para caracterizar a radiação de OL na EACF.



**Figura 6:** Evolução diurna dos valores médios mensais de  $OL_{\downarrow}$  dos dados do SRB durante 1993-2007. Barras verticais correspondem ao erro estatístico. Escala  $OL_{\downarrow}$  de  $-255 \text{ W m}^{-2}$  até  $-285 \text{ W m}^{-2}$

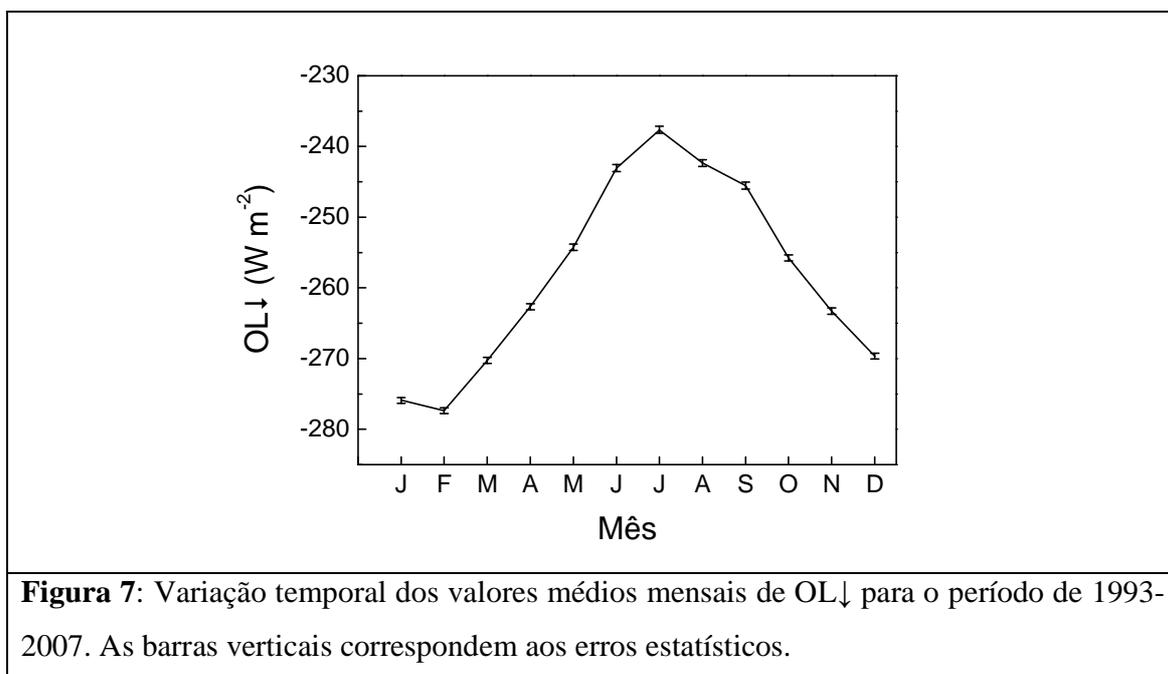


**Figura 6:** Continuação da evolução diurna dos valores médios mensais de  $OL\downarrow$  dos dados do SRB durante 1993-2007. Barras verticais correspondem ao erro estatístico. Escala  $OL\downarrow$  de  $-235 \text{ Wm}^{-2}$  até  $-265 \text{ Wm}^{-2}$

A evolução diurna dos valores horários médios mensais (Fig. 6) de onda longa emitida pela atmosfera ( $OL\downarrow$ ) apresenta pouca variação durante o dia. Na maior parte dos meses, os valores de  $OL\downarrow$  não seguem um ciclo diurno onde seja possível identificar um padrão diurno com valores máximos e mínimos associados a outras variáveis

meteorológicas, por exemplo, radiação solar. O maior valor horário de  $OL\downarrow$  é observado no mês de fevereiro ( $-282\pm 1 \text{ W m}^{-2}$ ) e o mínimo em julho ( $-236\pm 1 \text{ W m}^{-2}$ ).

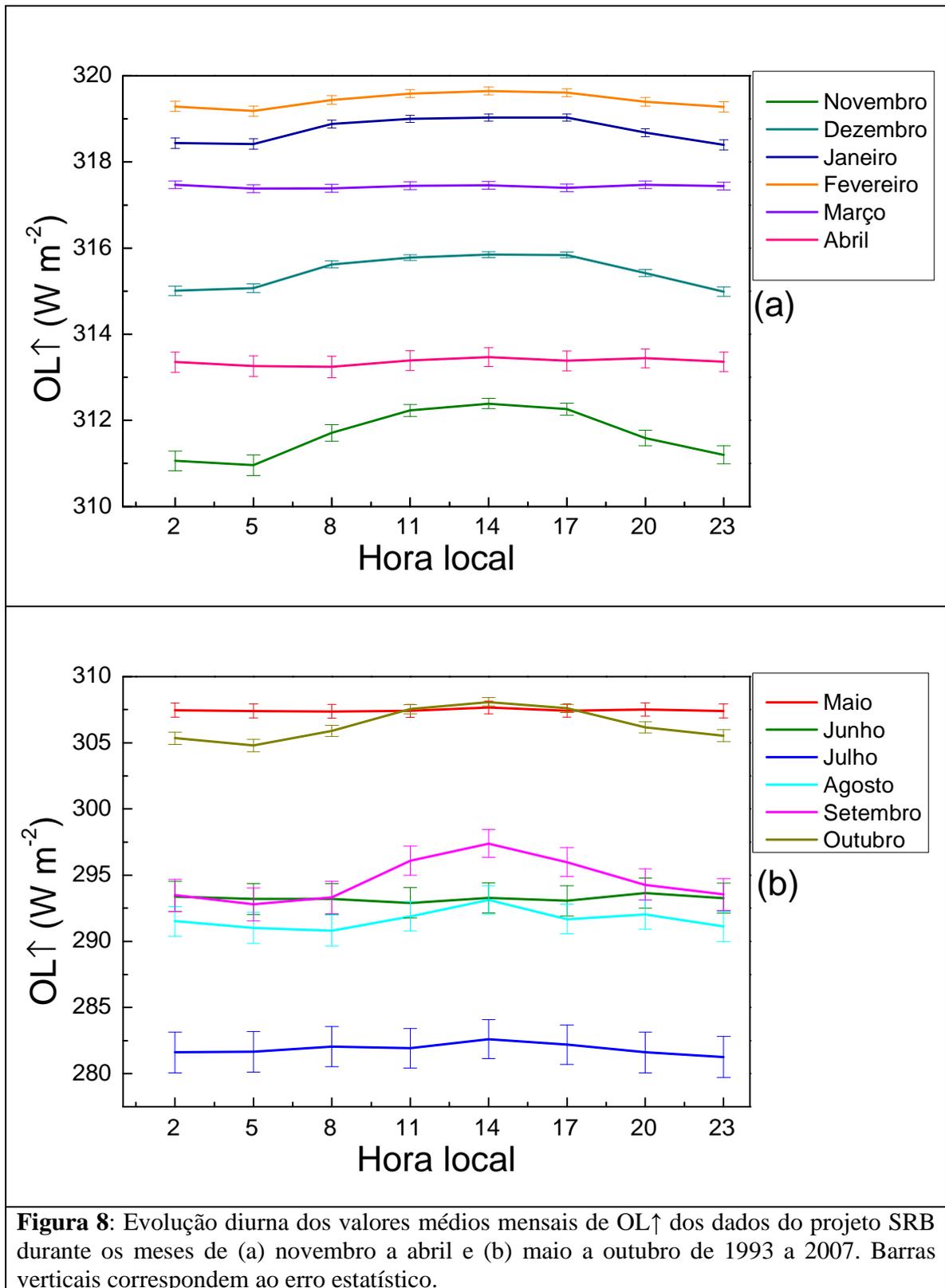
Na figura 7 são apresentados a variação temporal dos valores médios mensais de  $OL\downarrow$  e o erro estatístico para o período de 1993-2007.



Analisando o gráfico da figura 7, verifica-se que o valor mínimo médio mensal de  $OL\downarrow$  ocorre no mês de julho ( $-238\pm 1 \text{ W m}^{-2}$ ) enquanto o valor máximo ocorre no mês de fevereiro ( $-277\pm 1 \text{ W m}^{-2}$ ).

### 2.3. Onda longa emitida pela superfície

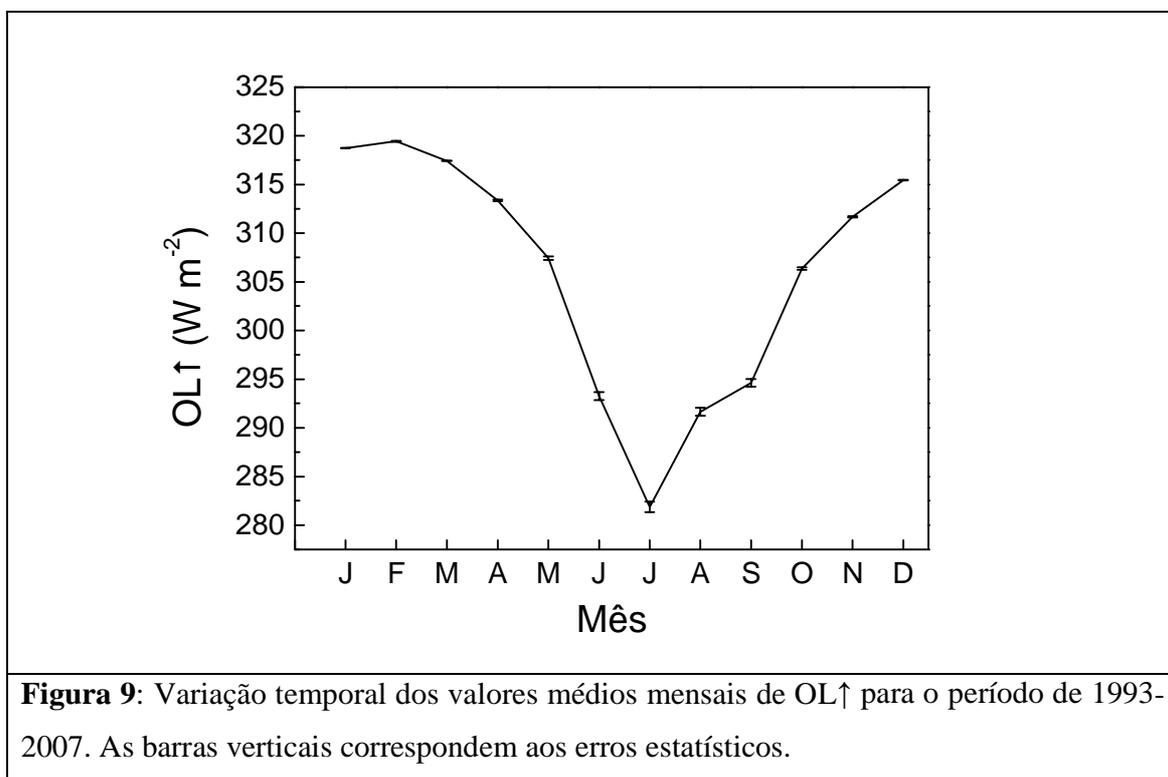
Na figura 8 são apresentadas as evoluções diurnas dos valores médios mensais de  $OL\uparrow$  para cada mês do ano dos dados extraídos do SRB. Os valores horários também estão indicados em função da hora local (GMT-4).



Analisando a figura 8, observa-se que a OL $\uparrow$  não varia muito durante o dia na maior parte dos meses do ano na Antártica. O valor máximo de OL $\uparrow$  ( $319\pm 1 \text{ W m}^{-2}$ ) ocorre em fevereiro e o mínimo ( $281\pm 1 \text{ W m}^{-2}$ ) em julho.

O período entre maio e outubro, o período com as menores temperaturas e com maior variação das mesmas (Ferron *et al.*, 2004) corresponde ao período de maior variação diurna da OL $\uparrow$ , conforme indica as barras verticais de erro.

Na figura 9 são apresentados a variação temporal dos valores médios mensais de OL $\uparrow$  e o erro estatístico para o período de 1993-2007.



Analisando a figura 9 observa-se que os valores médios mensais de OL $\uparrow$  atinge o máximo em fevereiro ( $319\pm 1 \text{ W m}^{-2}$ ) e o mínimo no mês de julho ( $282\pm 1 \text{ W m}^{-2}$ )

### 3. Discussão

A investigação inicial das componentes de radiação  $OC\downarrow$ ,  $OL\uparrow$  e  $OL\downarrow$  na região da EACF são apresentadas neste relatório.

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

Foi elaborado um programa em Fortran para a leitura e o tratamento dos dados, com o objetivo de organizar a base de dados composta dos valores horários de  $OC\downarrow$  observados na EACF entre 1993 e 2009 (Fig. 1), ilustrando a variação anual de  $OC\downarrow$  na região estudada, com seus valores ligados ao ciclo sazonal da região.

Com a base de dados organizada, os dados foram utilizados para calcular os valores horários médios mensais e valores médios mensais da  $OC\downarrow$  (Fig. 2 e 3) para a região da EACF.

Em seguida foi realizada uma comparação entre os valores médios mensais de  $OC\downarrow$  observados na EACF com os valores obtidos do SRB (Fig. 4), o que resultou no diagrama de dispersão (Fig. 5).

Também foi efetuado o cálculo dos valores horários médios mensais e valores médios mensais de  $OL\downarrow$  (Fig. 6 e 7) e  $OL\uparrow$  (Fig. 8 e 9) para os dados extraídos do SRB para a região estudada.

### 4. Conclusão

O objetivo deste projeto é descrever e analisar as propriedades radiométricas da atmosfera na região Antártica com ênfase na investigação das mudanças climáticas.

Nesta etapa do projeto, foram realizados os seguintes estudos:

- Estudo das componentes de radiação de onda curta incidente ( $OC\downarrow$ ), radiação de onda longa incidente na superfície emitida pela atmosfera ( $OL\downarrow$ ) e radiação de onda longa emitida pela superfície ( $OL\uparrow$ ).

- Estimar os valores médios e os respectivos erros estatísticos para as componentes de radiação estudadas.

Na tabela abaixo são indicados os valores máximos e mínimos de  $OC\downarrow$ ,  $OL\downarrow$  e  $OL\uparrow$ , (Fig. 3, 7 e 9).

	<b>Max.</b>	<b>Min.</b>
<b><math>OC\downarrow</math> EACF (<math>W\ m^{-2}</math>)</b>	-473±12	-29 ±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 1:** Valores máximos e mínimos para  $OC\downarrow$ ,  $OL\downarrow$  e  $OL\uparrow$  na região do 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 na região estudada.

Futuramente, serão analisados o balanço de radiação e as propriedades radiométricas da região, e a comparação da evolução diurna das propriedades da atmosfera (transmissividade) e da superfície (albedo e emissividade).

## 5. Referências

- Setzer, A. e M. Kayano, 2009: Limitações das reanálises para altas latitudes no Hemisfério Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **24 (3)** 254-261, 2009.
- Helene, O.A.M. e V.R.Vanin, 2004: Tratamento estatístico de dados em Física experimental. 2. Edição - Edgard Blucher.
- Chatfield, C., 1996: The Analysis on Time Series – An Introduction. 5<sup>th</sup> edition. Chapman & Hall, New York.
- 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, ISSN 0103-4049, 2004.

## **6. Outras Atividades**

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

### **6.1 Disciplinas cursadas no período:**

- Física II – 7,2
- Cálculo Diferencial e Integral III – 9,7
- Cálculo numérico com aplicações em física - 7,8
- Climatologia I – 9,0