

**RELATÓRIO DE ATIVIDADES**

**PROJETO FluTuA**

**MsC. Antonio Jaschke Machado  
Especialista em Laboratório**

**Grupo de Micrometeorologia  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Fevereiro de 2003**

## 1. Introdução

O projeto FluTuA tem como objetivo investigar a interação entre o oceano Atlântico e a Atmosfera através da realização de observações dos fluxos verticais turbulentos de momento, calor sensível e latente na camada limite atmosférica sobre o oceano.

Este relatório descreve as atividades de preparação da missão de observação realizada a bordo no navio *Cmte Manhães*, durante o período de 14 a 24 de Maio de 2002. Neste período foram realizadas observações de velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, temperatura da água do oceano e as componentes verticais do balanço de radiação. Para que estas medidas fossem efetuadas foi desenvolvido um programa de aquisição de dados e a elaboração de campanhas de calibrações dos instrumentos antes e depois do experimento.

Neste relatório estão contidos:

- (a) as informações referentes ao desempenho dos sensores obtidos através de 10 dias de calibração antes (09 a 18 de Abril de 2002) e 48 dias depois (01 Novembro a 18 de Dezembro de 2002) do experimento;
- (b) descrição do programa de aquisição de dados desenvolvido para esta campanha de medidas;
- (c) esquema de conexões dos sensores no sistema de aquisição de dados.

Este relatório tem como finalidade documentar o processo de preparação e execução uma campanha de medidas micrometeorológicos. Como este tipo de atividade demanda uma quantidade grande de tempo e os seus resultados em geral não são encontradas na literatura, esperamos com isso contribuir com outros pesquisadores da área.

## 2. Descrição dos instrumentos utilizados

### 2.1 . Radiômetro Líquido, modelo CNR 1 (Kipp & Zonen, 1989)

- Quantidade utilizada: 1(um);
- Fabricante: Kipp & Zonen;
- Constante de calibração:  $C = 12,25 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$  (idêntica para todos os sensores);

- Número de sensores: 5 (cinco);
- Acurácia:  $\pm 2,5\%$  para intensidades menores que  $1000 \text{ W/m}^2$ ;

### 2.1.1 - Descrição dos sensores do radiômetro líquido:

- **Sensor a** (up) – CM3: fornece a intensidade da radiação solar global, proveniente da atmosfera (de cima para baixo). Valor numérico positivo, em mV;
- **Sensor b** (down) – CM3: fornece a intensidade da radiação solar, proveniente da superfície (de baixo para cima). Valor numérico positivo, em mV;
- **Sensor c** (up) – CG3: fornece a intensidade da radiação térmica, emitida pela atmosfera (de cima para baixo). Valor numérico negativo, em mV;
- **Sensor d** (down) – CG3: fornece a intensidade da radiação térmica, emitida pela superfície (de baixo para cima). Valor numérico positivo, em mV;
- **Sensor e** – Pt100: fornece a temperatura do sensor. Valor numérico positivo, em mV.

### 2.1.2 - Observações sobre os sensores do radiômetro líquido:

Os sensores **a**, **b**, **c**, e **d** baseiam-se em resistências do tipo Shunt. O sensor **e** baseia-se em resistência do tipo Pt100 ( $100 \Omega$ ).

O sensor **e** fundamenta-se em esquema de ponte de Weathstone, necessitando portanto de resistência complementar para fechar-se o circuito elétrico.

Utilizou-se nesse caso resistência externa de  $10 \text{ k}\Omega$ , aplicando-se o correspondente polinômio de 1ª ordem para obtenção do valor da temperatura do sensor em °C.

O polinômio, aplicado à resistência equivalente interna ( $x = R_s/R_o$ ), é o seguinte:

$$T_{\text{sensor}} (\text{°C}) = - 256,91 + 25698 x \text{ ( Figura 03 )}.$$

Esse polinômio foi obtido a partir de uma tabela contendo as variações da resistividade, em função da temperatura, para uma resistência de  $100 \Omega$ . Cujas características físico-químicas, de seus constituintes, não correspondem exatamente às daquelas dos constituintes da resistência efetivamente utilizada; constituindo-se assim, portanto, em uma aproximação.

Para se obter os valores da radiação solar em  $W/m^2$ , deve-se apenas dividir a leitura em  $\mu V$  pelo valor da constante  $C$ .

Para se obter os valores da radiação térmica em  $W/m^2$ , deve-se dividir a leitura em  $\mu V$  pelo valor da constante  $C$  e somar-se a esse resultado o termo  $\sigma.(T_{\text{sensor}} + 273.15)^4$ , onde  $\sigma$  corresponde à constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67.10^{-8} W/m^2/K^4$ ).

## **2.2. Anemômetro *Gill Propeller*, modelo 27106 (Young, 1990).**

- Quantidade utilizada: 2(dois).
- Fabricante: R. M. YOUNG Company.
- Constante de calibração:  $C = 0,01764$  m/s/mV (idêntica para ambos os aparelhos).
- Número de sensores: 1 (um).
- Acurácia:  $\pm 1$  % da intensidade obtida.

### **2.2.1. Descrição do *Gill Propeller***

O sensor desse aparelho fornece um valor em miliVolts, que pode ser positivo ou negativo. Respeitada a convenção meteorológica, os valores positivos correspondem a ventos de oeste ou de sul, enquanto os valores negativos correspondem a ventos de este ou de norte.

#### **2.2.1. Observações sobre o *Gill Propeller*:**

Os instrumentos devem ser dispostos perpendicularmente um ao outro, sendo que o primeiro, posicionado na direção Norte-Sul, com a hélice do lado Norte, fornece a componente meridional do vento horizontal; enquanto que o segundo, posicionado na direção Este-Oeste, com a hélice do lado Este, fornece a componente zonal do vento horizontal.

Caso, não se esteja utilizando a convenção meteorológica, deve-se definir um novo sistema de referência, inercial ou não-inercial, no qual especifique-se o significado das componentes obtidas.

### **2.3. Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do Ar, modelo HMP45C (Campbell, 1999).**

- Quantidade utilizada: 1(um);
- Fabricante: Vaisäla;
- Constante de calibração:  $C = 1 \text{ }^\circ\text{C/mV}$  (para o sensor de temperatura) ou  $C = 0,1 \text{ \%}/\text{mV}$  (para o sensor de umidade relativa);
- Número de sensores: 2 (dois);
- Acurácia do sensor de temperatura:  $- 0,3 + 0,005 T$  ( $T \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e  $0,1 - 0,005 T$  ( $T > 20 \text{ }^\circ\text{C}$ );
- Acurácia do sensor de umidade relativa:  $\pm 2 \%$  ( U.R.  $< 90 \%$  ) e  $3 \%$  ( U.R.  $> 90 \%$  ).

#### **2.3.1 Descrição dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar:**

Posicionados no interior de um mesmo corpo que é embutido em um aparato branco, que visa à proteção da incidência de radiação solar.

#### **2.3.2 Observações sobre os sensores de temperatura e umidade relativa do ar::**

O aparato que protege os sensores, desde que limpo adequadamente, reflete a radiação solar, evitando um aquecimento adicional destes. É constituído de diversos pratos que são dispostos um sobre o outro, de forma que permite a circulação do ar no interior do invólucro. Deve ser fixado verticalmente, através de parafusos borboleta.

### **2.4. Sensor de Temperatura da água, modelo 107 (Campbell, 2000).**

- Quantidade utilizada: 1(um).
- Fabricante: Väisälä.
- Constante de calibração:  $C = 800 \text{ mV/mV}$ .

- Número de sensores: 1 (um).
- Acurácia do sensor:  $< \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $-24 < T_{\text{sup}} \text{ }^\circ\text{C} < 48$ )

#### **2.4.1 - Descrição do sensor de temperatura da água:**

Posiciona-se o sensor na superfície desejada. Para o solo, enterra-se o sensor no nível desejado, distante tantos cm a partir da superfície. Para a água, é desejado que o corpo do sensor fique submerso.

#### **2.4.2 – Observações sobre o sensor de temperatura da água:**

Obtém-se uma leitura em mV ( $x$ ) que pode ser convertida, através da utilização de um polinômio de 5ª ordem, em  $^\circ\text{C}$ . O polinômio que pode ser aplicado a leitura  $x$ , é o seguinte:

$$T_{\text{sup}} \text{ }^\circ\text{C} = - 53,460 + 90,807 x - 83,257 x^2 + 52,283 x^3 - 16,723 x^4 + 2,211 x^5.$$

### **3. Resultados obtidos antes do Experimento FluTuA.**

O experimento FluTuA ocorreu durante o mês de Maio de 2002, com a participação do Prof. Amauri P. de Oliveira, no Oceano Atlântico Equatorial.

Antes da realização deste experimento, durante o mês de Abril, todos os aparelhos que seriam utilizados foram testados, verificados, calibrados e preparados para o trabalho em campo.

Os resultados desta análise, que nos indica o comportamento e o desempenho destes sensores e aparelhos, antes da sua utilização em campo, são apresentados nas Figuras 04 a 11. Pode-se notar um comportamento adequado para todos os sensores, com um pequeno viés negativo para os valores de umidade relativa e um viés positivo relativamente elevado para as observações de radiação de onda longa efetuadas com o sensor Kipp-Zonen (KZ).

#### **4. Descrição do programa de aquisição de dados**

O programa que foi desenvolvido, para operar o sistema de aquisição de dados (datalogger modelo 21X), é apresentado no Apêndice A. É composto por 22 blocos de comando que controlam a amostragem e o adequado armazenamento das variáveis medidas, conforme as conexões e estrutura de dados apresentadas na Figura01 e Tabela02. Além disso, mais sete comandos extras são responsáveis pelo formato do arquivo de saída, com as variáveis em suas respectivas unidades, seguindo a organização apresentada na Tabela01.

#### **5. Resultados obtidos após o Experimento FluTuA.**

Após a realização do experimento FluTuA, entre os meses de Novembro e Dezembro, todos os aparelhos que estiveram sendo utilizados foram testados, verificados e calibrados novamente.

Os resultados desta análise, que mostra o comportamento dos sensores após sua utilização no Oceano, são apresentados nas Figuras 12 a 36. Pode-se notar um comportamento adequado para praticamente todos os sensores, com o pequeno viés negativo para os valores de umidade relativa repetindo-se novamente, como antes. Todavia, os valores de onda longa observados pelo sensor Kipp-Zonen (KZ) apresentaram um viés ainda superior que antes ao experimento, motivando sua inversão de posição, em relação à radiação que estava sendo observada, com origem da atmosfera e da superfície.

#### **5. Conclusões**

De uma forma geral os sensores utilizados no experimento FluTuA 2002 apresentaram um desempenho satisfatório, devendo-se fazer duas ressalvas.

A primeira ressalva, menos significativa, diz respeito aos valores coletados de umidade relativa do ar, que ao que tudo indica, parecem estar apresentando uma defasagem da ordem de 10 %. Porém, de forma consistente, como pode ser observado nos resultados obtidos para antes e para após o experimento.

A segunda ressalva, esta mais relevante, diz respeito aos valores de radiação de onda longa, observados com os sensores Kipp-Zonen. Este aparelho, no que diz respeito aos sensores de onda longa, apresentou comportamento distinto nas etapas anterior e posterior ao experimento. Após o experimento, o viés positivo, que já era considerado elevado, ficou ainda mais alto. Além disso, na tentativa de verificar-se

uma eventual alteração no comportamento dos sensores de onda longa, ao se inverter a posição destes de cima para baixo e de baixo para cima, obteve-se uma variação significativa nos valores observados, com o viés diminuindo e aumentando novamente, atingindo um novo patamar distinto dos anteriores.

Ao que parece, os sensores de onda longa carecem de um melhor entendimento no que diz respeito a sua utilização e conexão ao sistema de aquisição de dados. Deve estar faltando uma resistência de precisão adequada à conexão apresentada na Figura01, que isole estes sensores de qualquer efeito térmico proveniente do ambiente e resulte em valores mais confiáveis. Esta resistência que estaria faltando corresponderia à quarta resistência de uma ponte de Weathstone, conforme a associação de resistores apresentada na Figura02.

## **6. Referências Bibliográficas:**

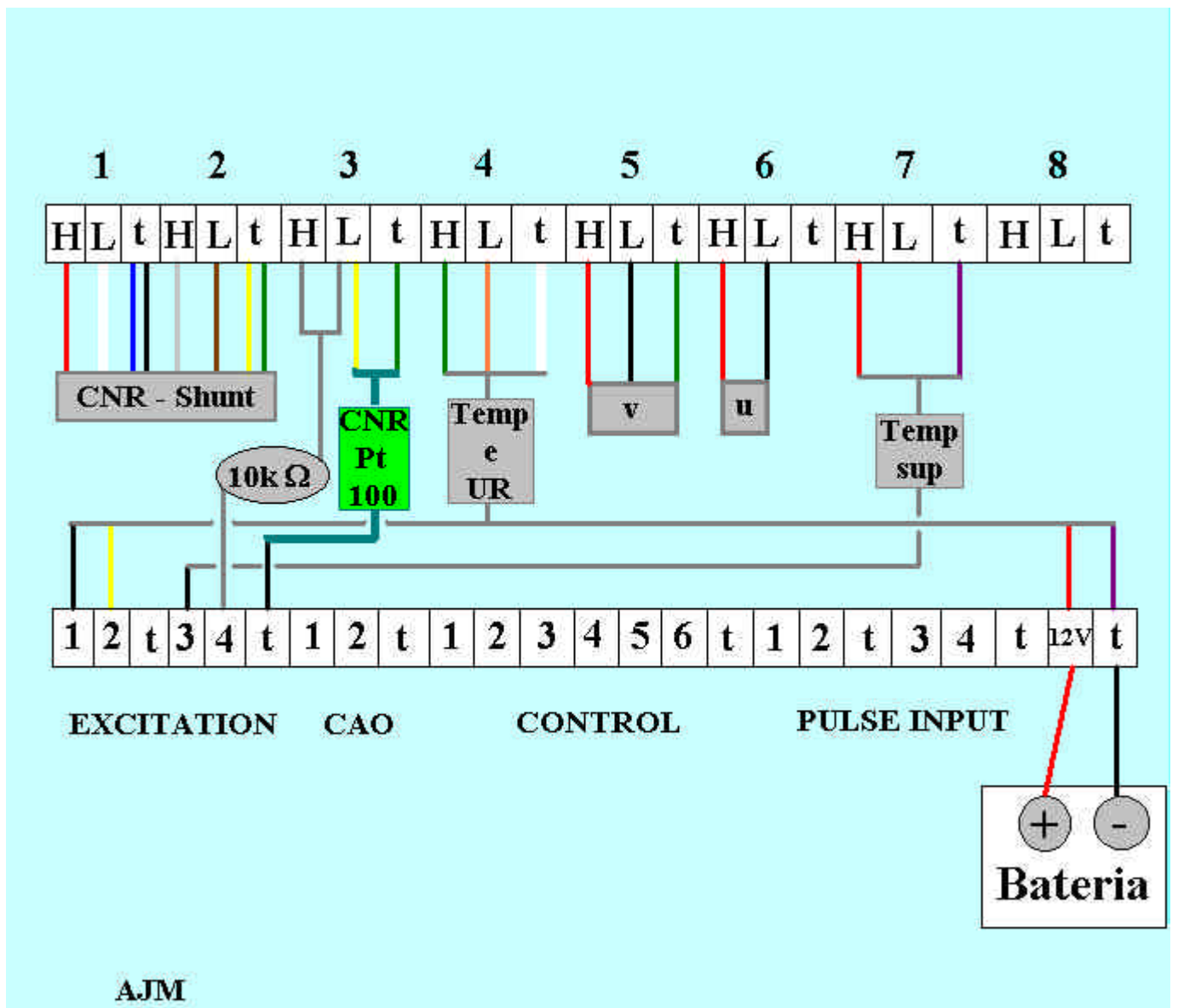
Campbell Scientific, Inc. 2000. Model 107 Temperature Probe Instruction Manual.

Campbell Scientific, Inc. 1999. Model HMP45C Temperature and Relative Humidity Probe Instruction Manual.

Kipp & Zonen. 1989. Instruction Manual CNR 1 Net-Radiometer.

Young, R. M. Company. 1990. Model 27106 Gill Propeller Anemometer.





**Figura 01** – Esquema de ligação dos aparelhos utilizados, ao sistema de aquisição de dados.

**Tabela 01 - Itens gerados pelo programa Flutua.doc (ou .stn) – instalado no sistema de aquisição de dados (modelo 21X)**

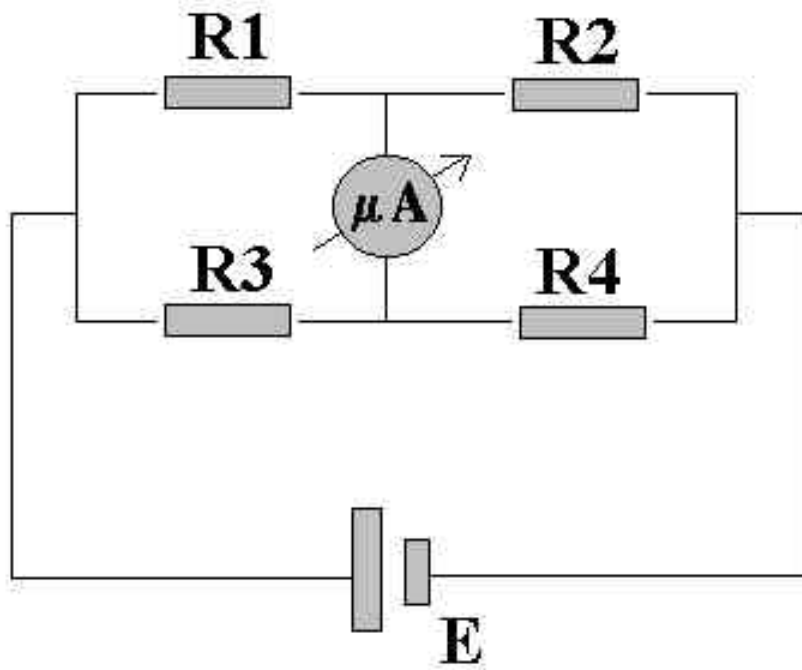
POSIÇÃO NA MEMÓRIA DO 21 X	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
ítem GERADO	O.C. DECIMA PARABAIXO W/M <sup>2</sup> POS SENSOR A	O.C. DEBAIXO PARACIMA W/M <sup>2</sup> POS SENSOR B	O.L. DECIMA PARABAIXO W/M <sup>2</sup> NEG SENSOR C	O.L. DEBAIXO PARACIMA W/M <sup>2</sup> POS SENSOR D	RS/RO W / W SENSOR E	VAZIO	TEMP. DO AR °C	U.R. DO AR %	V M/S	U M/S	TEMP. SUPERF. MV	VAZIO	K*RS/RO

POSIÇÃO NA MEMÓRIA DO 21 X	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
ítem GERADO	TEMP. SENSOR E °C (Ts)	TEMP. SENSOR E K (Ts)	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	0.0567 * Ts	0.0567 * Ts <sup>2</sup>	10 <sup>-6</sup> * Ts	sTs <sup>3</sup>	CORR. O.L. sTs <sup>4</sup>	O.L. CORRIG. DE CIMA PARABAIXO W/M <sup>2</sup>	O.L. CORRIG. DEBAIXO PARACIMA W/M <sup>2</sup>	TEMP. SUPERF. °C

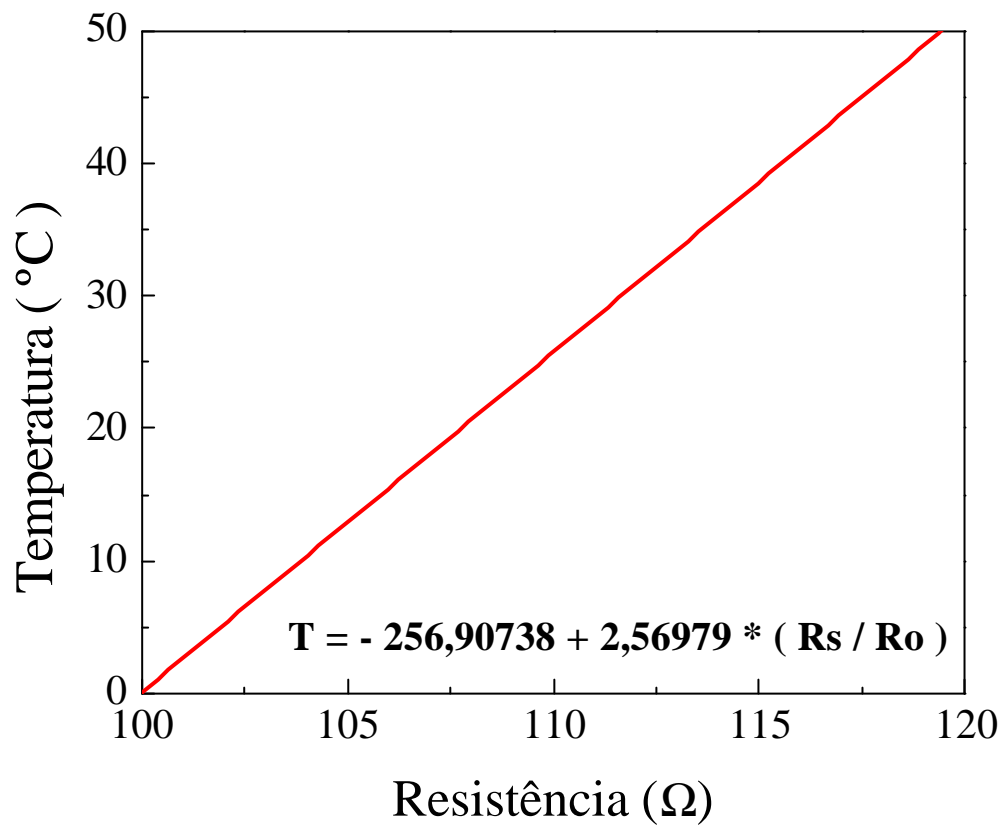
**TABELA 02 - SAÍDA DO PROGRAMA FLUTUA.DOC (OU .STN) – ARQUIVOS DE DADOS EM BRUTO (FLUTUADDD.DAT)**

<b>POSIÇÃO NO ARQUIVO EM BRUTO</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>05</b>	<b>06</b>	<b>07</b>	<b>08</b>	<b>09</b>
<b>Ítem GERADO</b>	<b>Nº DA MULTIPLEX.</b>	<b>DIA JULIANO</b>	<b>HHMM</b>	<b>O.C. DE CIMA PARA BAIXO W/M<sup>2</sup> POS SENSOR A</b>	<b>O.C. DE BAIXO PARA CIMA W/M<sup>2</sup> POS SENSOR B</b>	<b>O.L. DE CIMA PARA BAIXO W/M<sup>2</sup> NEG sensor c</b>	<b>O.L. DE BAIXO PARA CIMA W/M<sup>2</sup> POS SENSOR D</b>	<b>TEMP. DO AR °C</b>	<b>U.R. DO AR %</b>

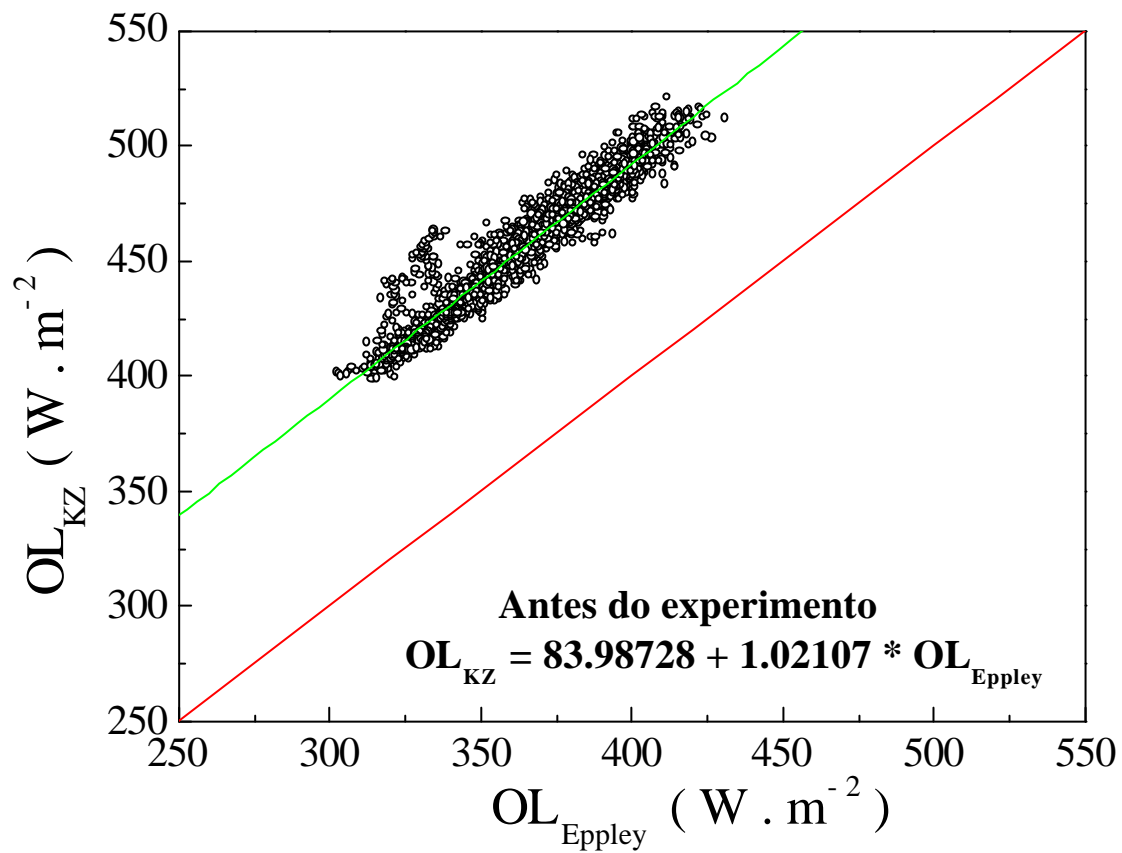
<b>POSIÇÃO NO ARQUIVO EM BRUTO</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	
<b>Ítem GERADO</b>	<b>V M/S</b>	<b>U M/S</b>	<b>TEMP. SUPERF. MV</b>	<b>O.L. CORRIG. DE CIMA PARA BAIXO W/M<sup>2</sup></b>	<b>O.L. CORRIG. DE BAIXO PARA CIMA W/M<sup>2</sup></b>	<b>TEMP. SUPERF. °C</b>	<b>TEMP. SENSORE °C</b>	<b>TEMP. SENSORE K</b>	



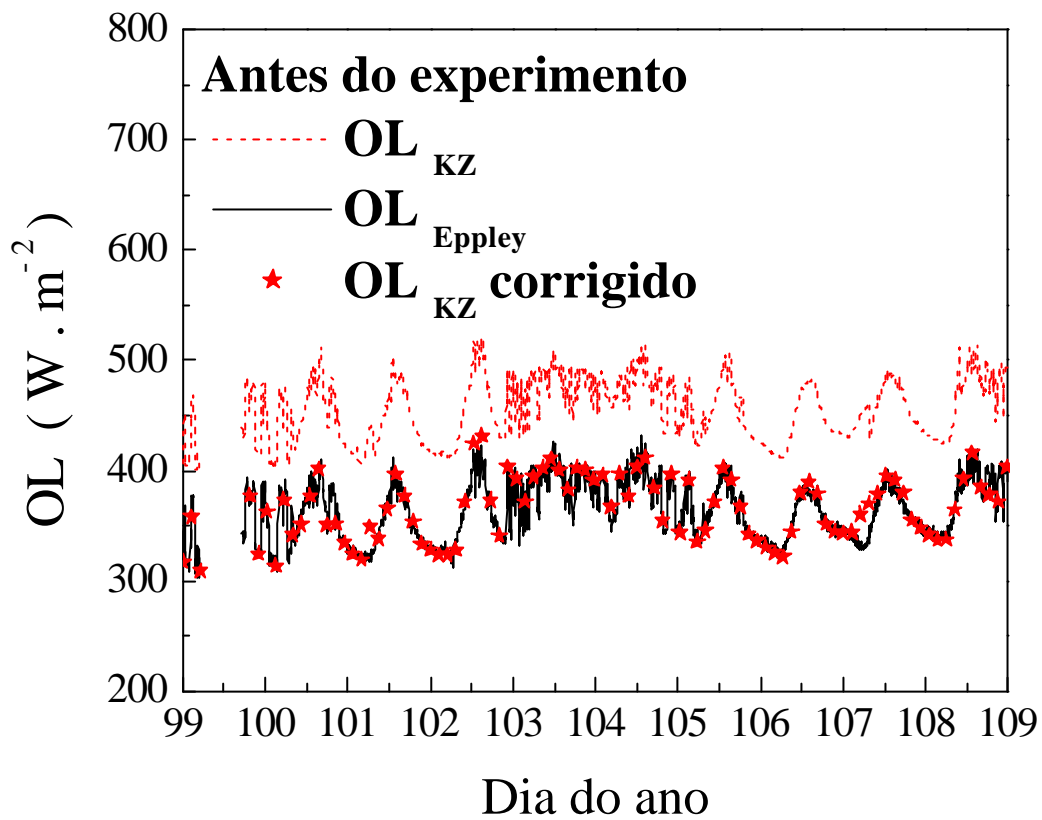
**Figura 02** – Ponte de Weathstone, onde vale a relação  $R1 / R3 = R2 / R4$  .



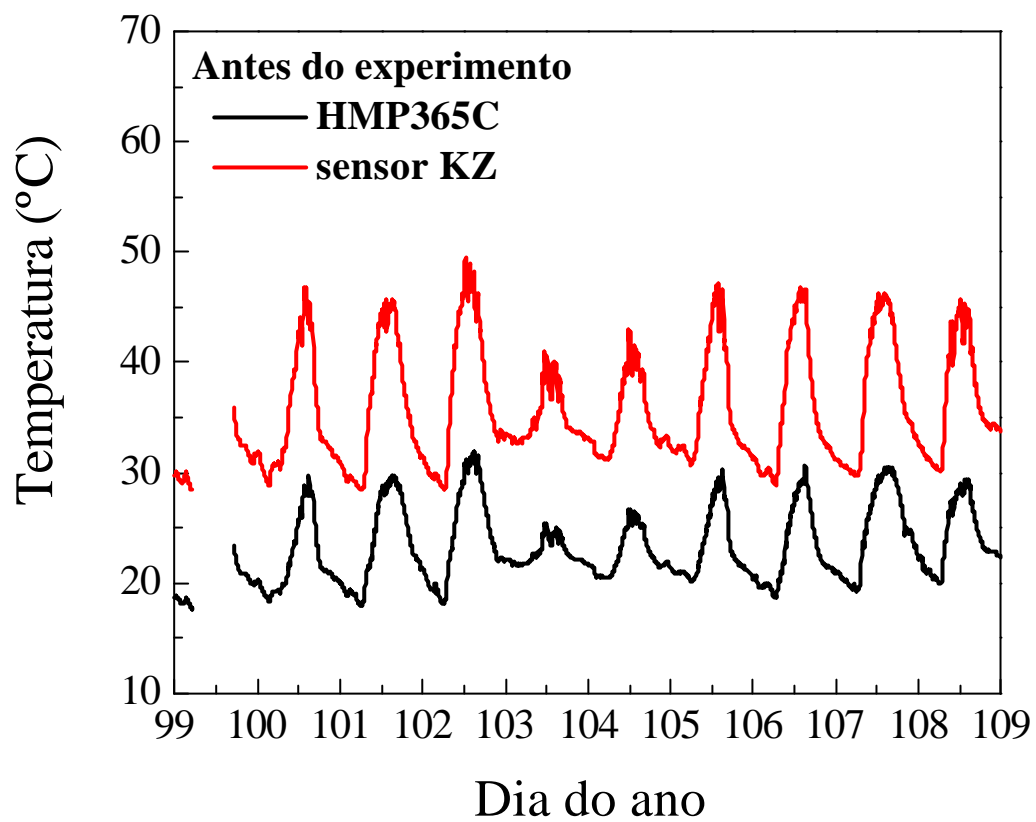
**Figura 03** – Reta resultante do comportamento térmico de um resistor de 100 Ω (Kipp & Zonen, 1989).



**Figura 04** – Radiação de onda longa KZ x Eppley, para o período entre 09 e 18 de Abril de 2002.

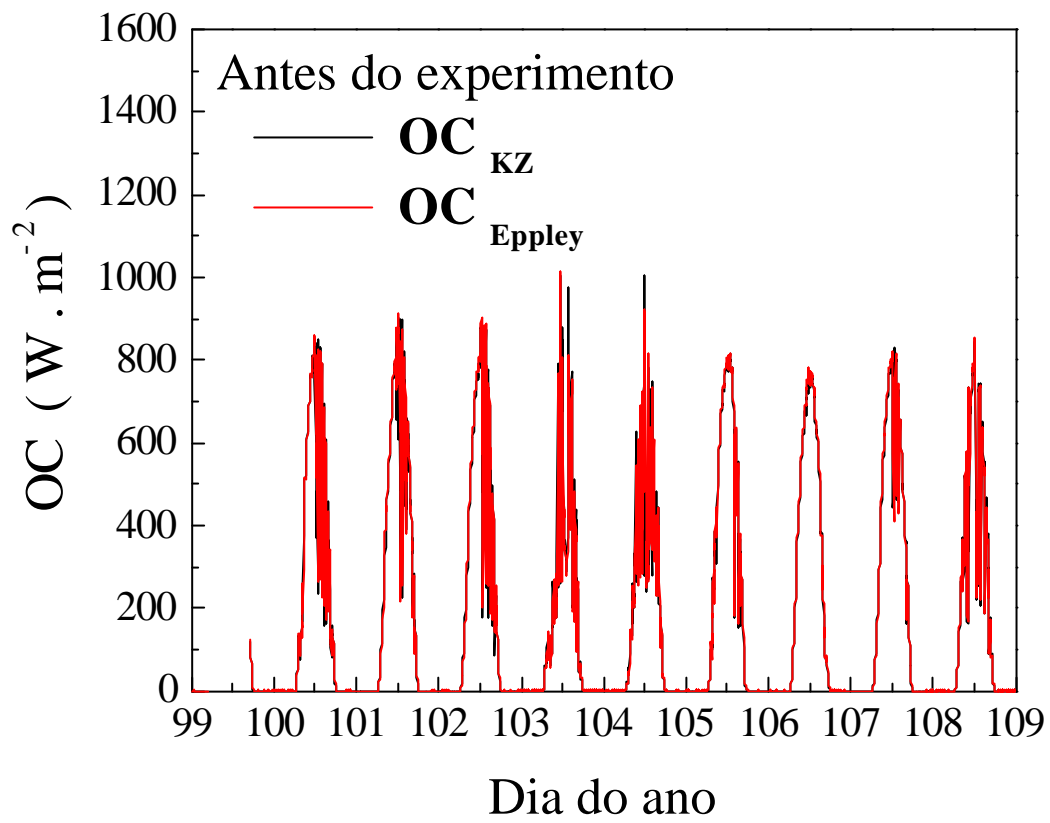


**Figura 05** – Radiação de onda longa observada entre 09 e 18 de Abril de 2002, com os sensores KZ e Eppley, além dos valores de KZ corrigidos pela diferença entre ambos.

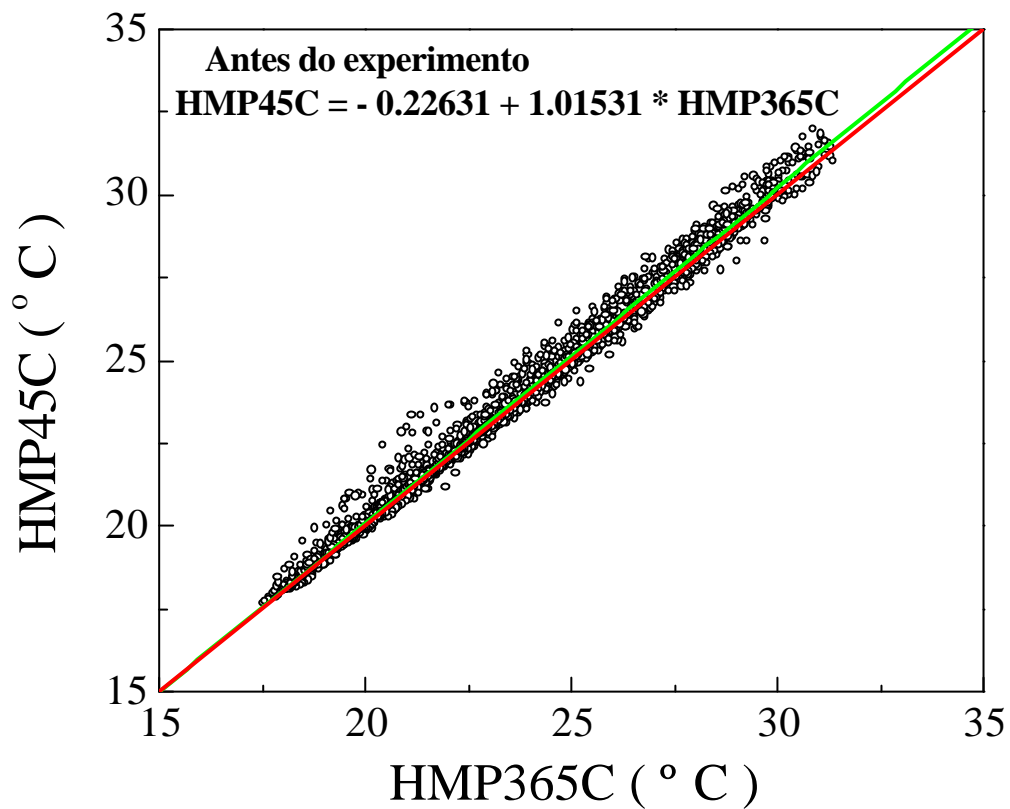


**Figura 06** – Evolução temporal da temperatura do ar (HMP365C) e do sensor de onda longa (sensor KZ).

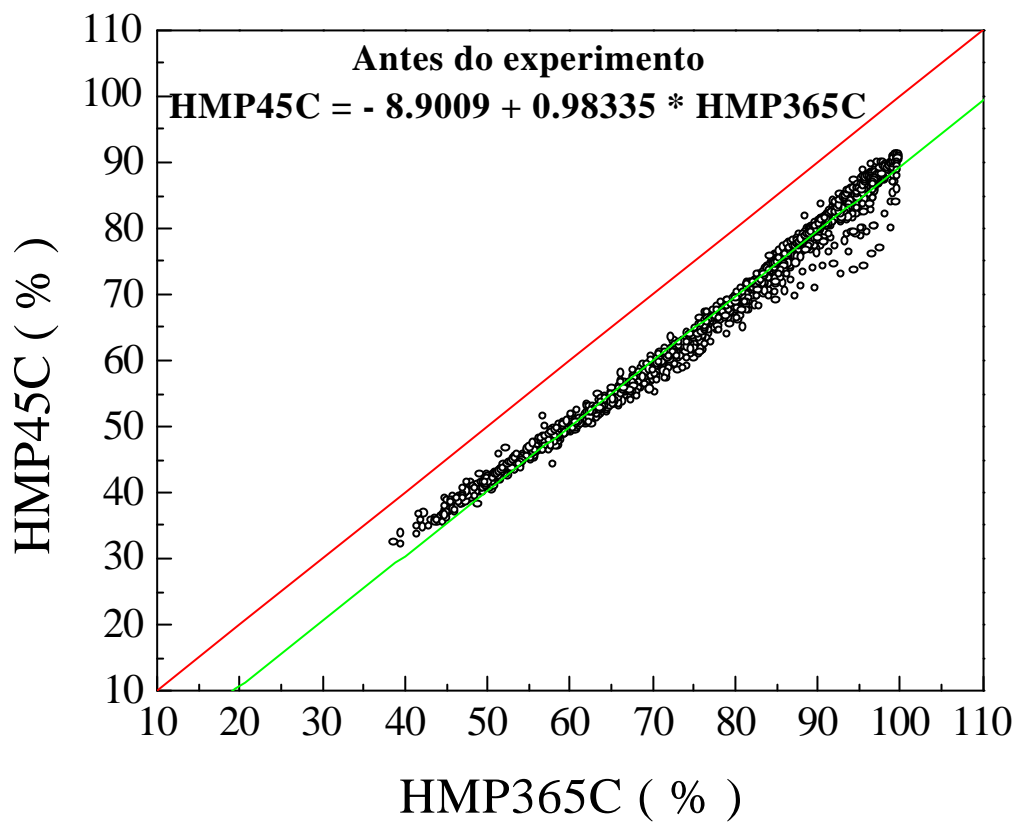




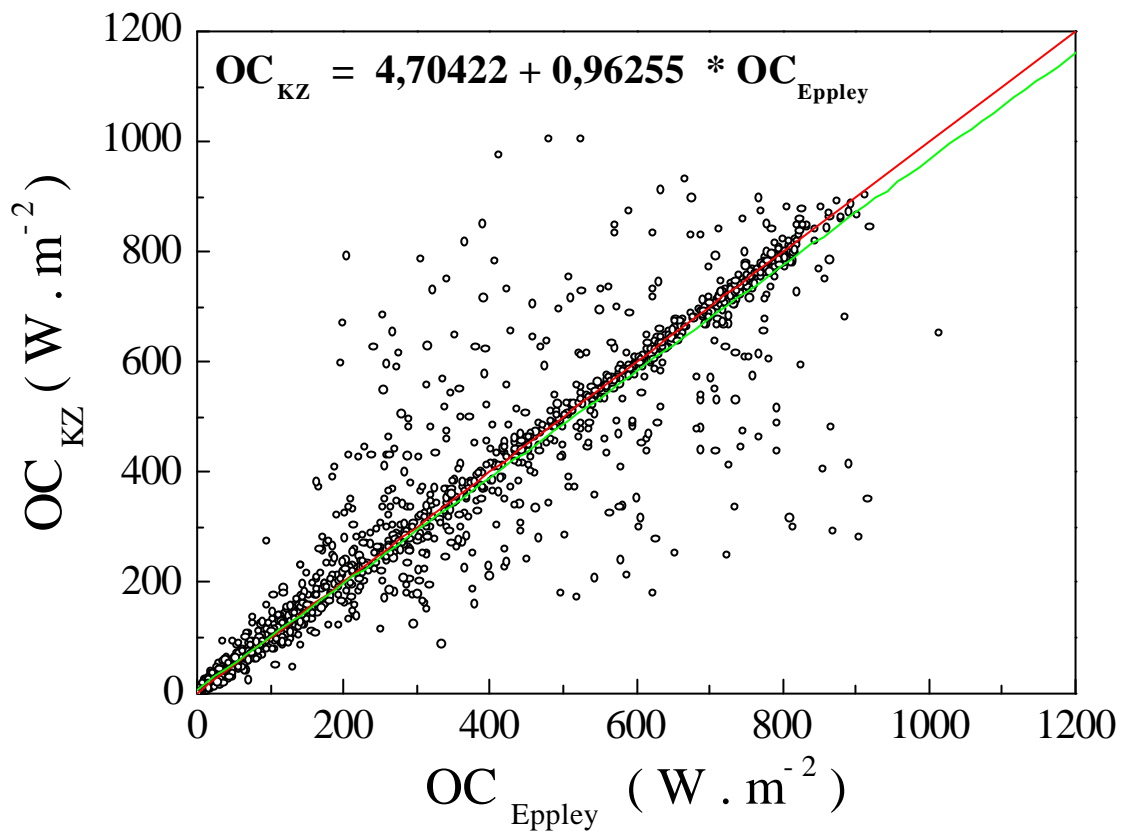
**Figura 07** – Radiação solar global observada entre 09 e 18 de Abril de 2002.



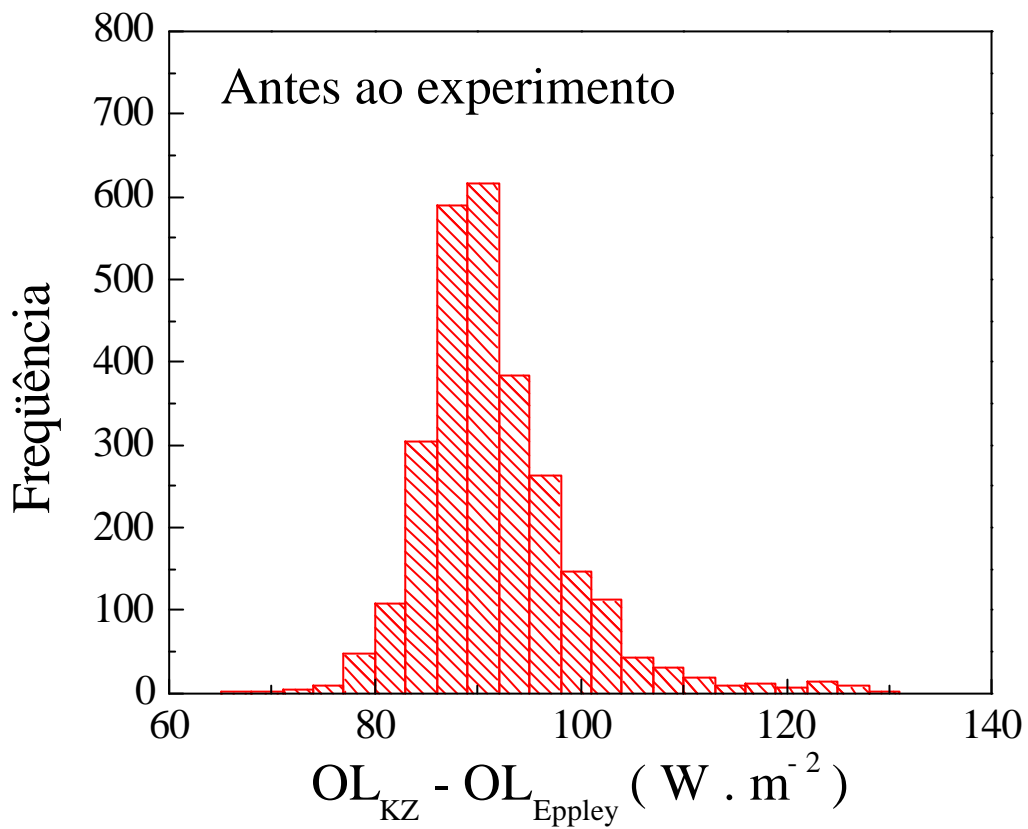
**Figura 08** – Diagrama de dispersão HMP45C x HMP365C para a temperatura do ar observada no período entre 09 e 18 de Abril de 2002. O sensor HMP45C corresponde ao utilizado no Experimento FluTuA.



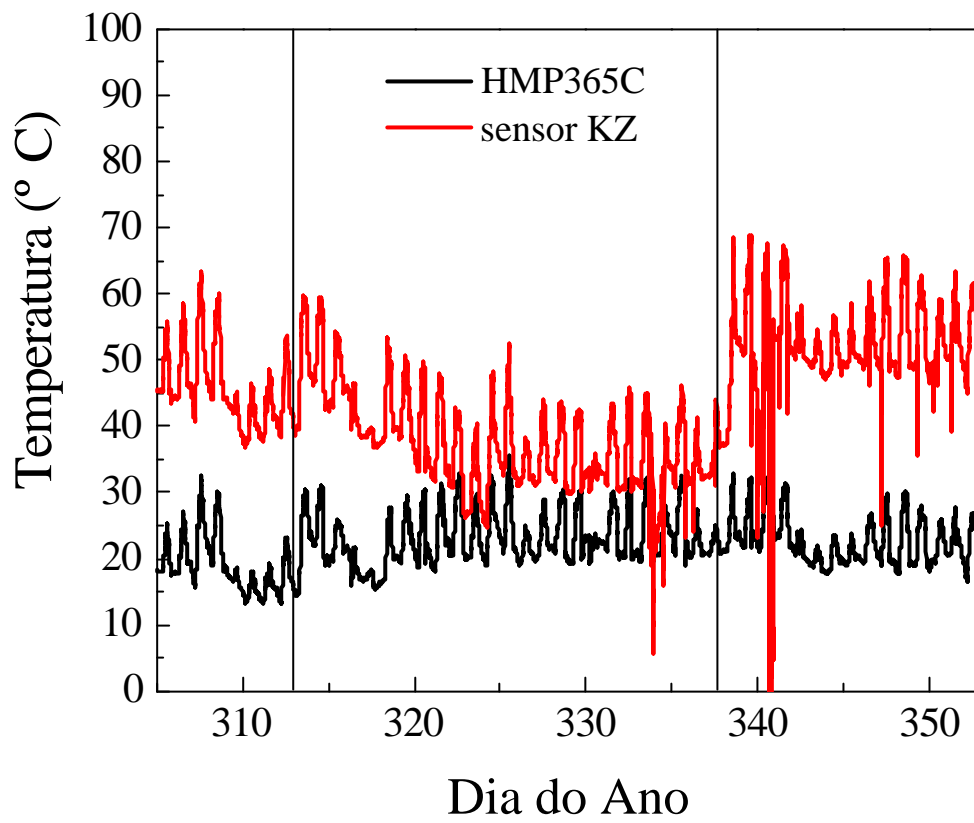
**Figura 09** – Diagrama de dispersão HMP45C x HMP365C para a umidade relativa do ar observada no período entre 09 e 18 de Abril de 2002. O sensor HMP45C corresponde ao utilizado no Experimento FluTuA.



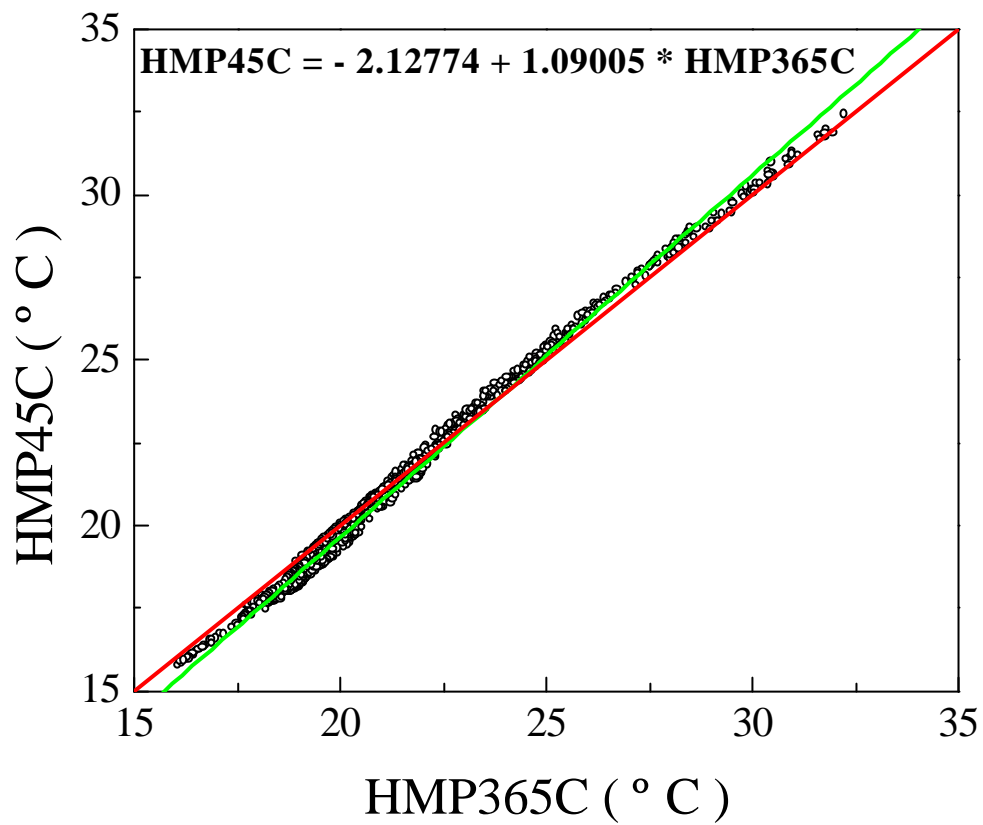
**Figura 10** - Radiação solar global observada no período entre 09 e 18 de Abril de 2002.



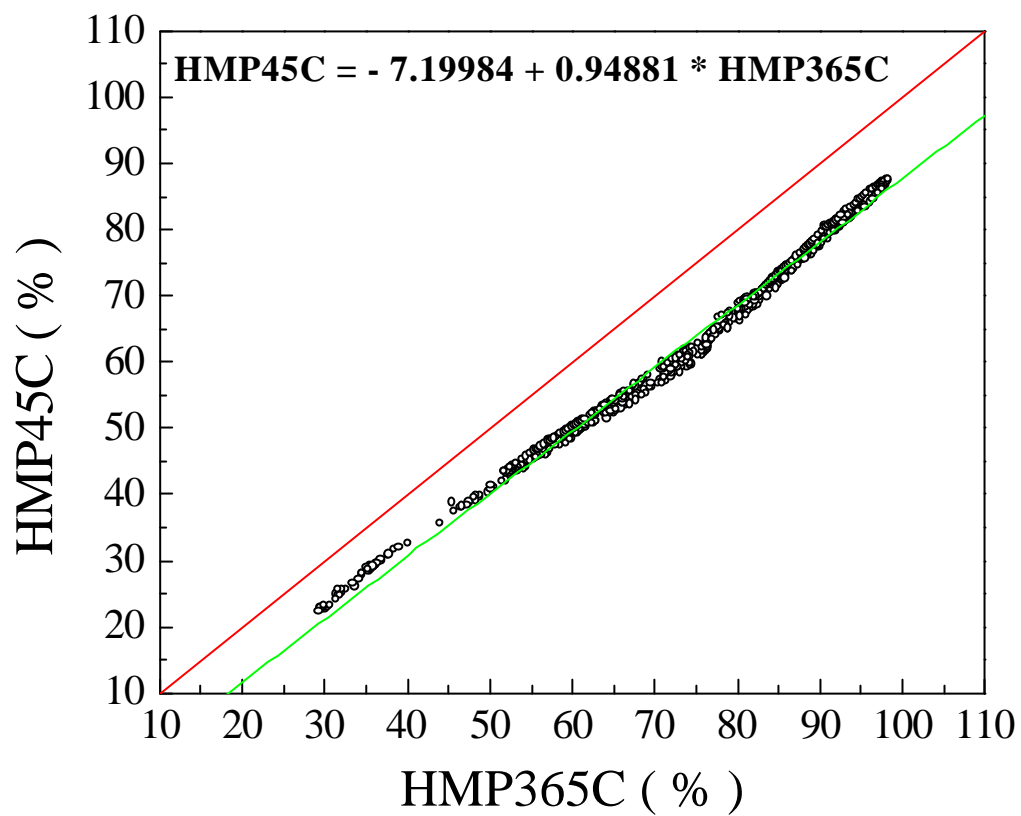
**Figura 11** – Distribuição do erro associado às observações de onda longa, no período entre 09 e 18 de Abril de 2002.



**Figura 12** – Idem à Figura 06, para o período entre 01 de novembro e 18 de dezembro de 2002.

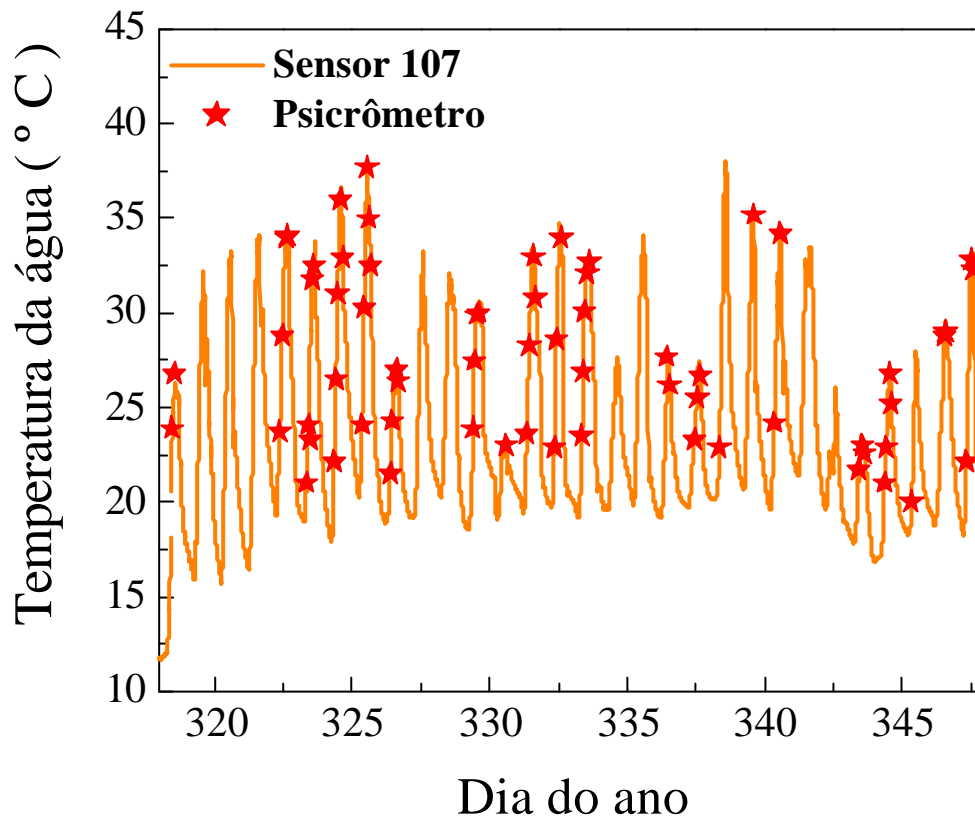


**Figura 13** – Idem à Figura 08, para o período entre 01 de Novembro e 18 de Dezembro de 2002.

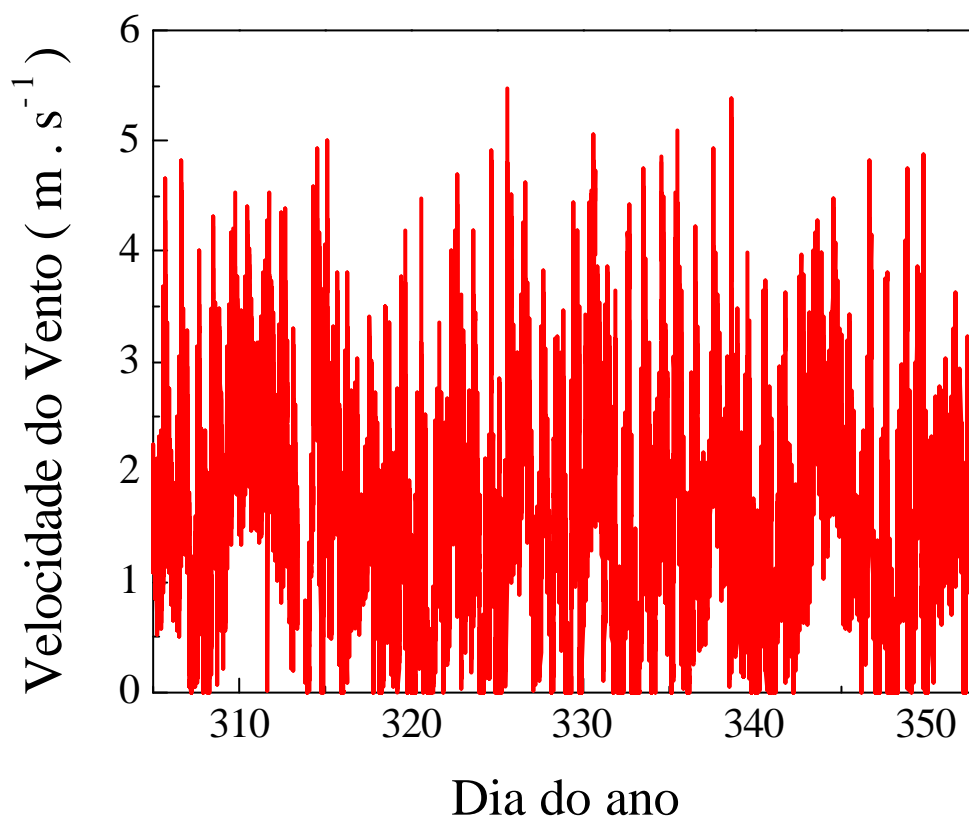


**Figura 14** – Idem à Figura 09, para o período entre 01 de Novembro e 18 de Dezembro de 2002.

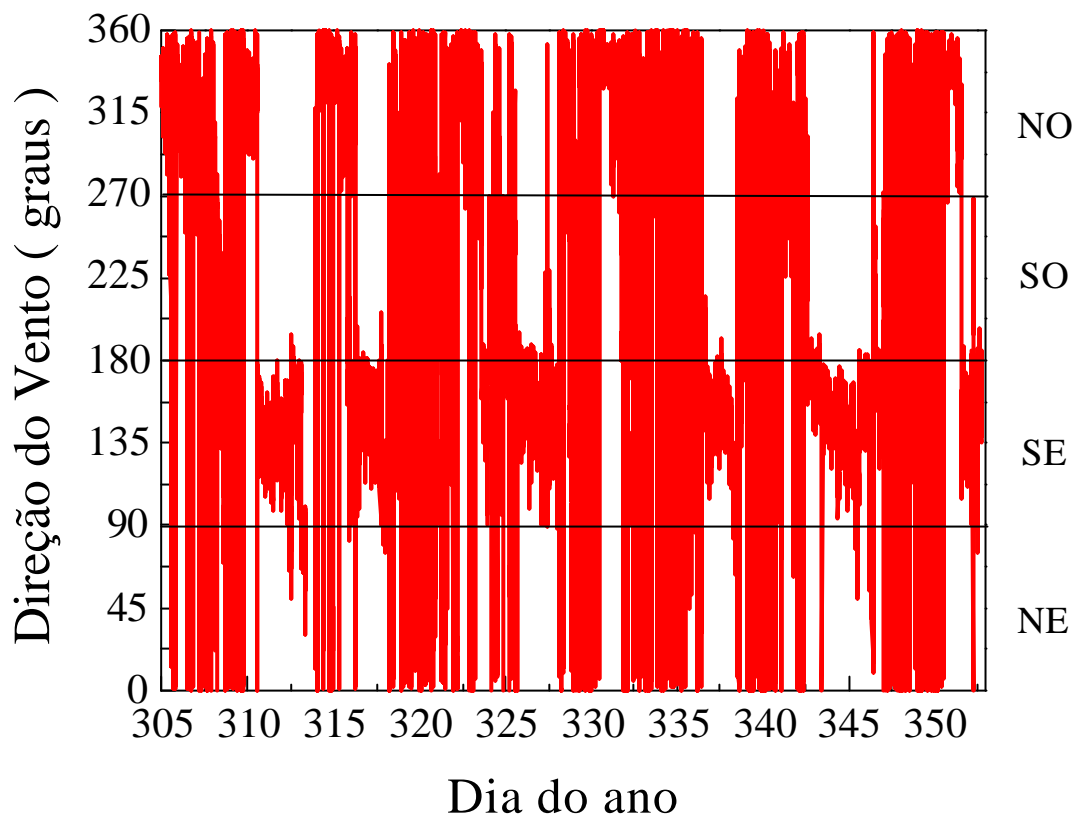




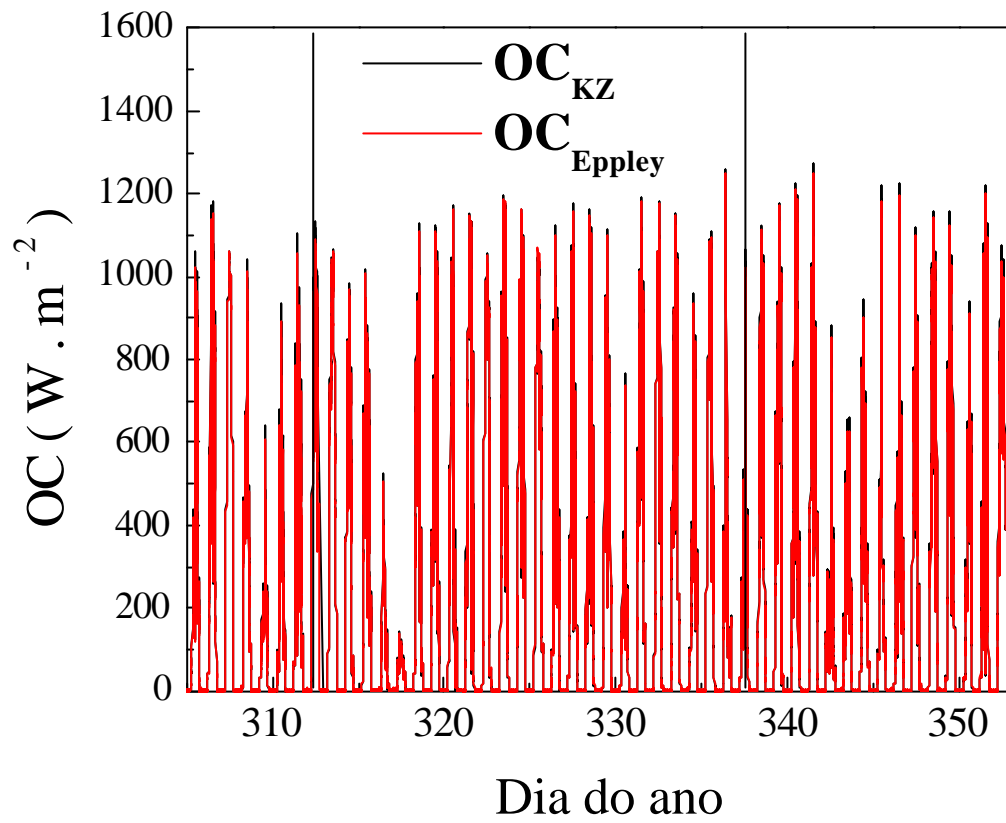
**Figura 15** – Evolução temporal da temperatura da água, no período entre 08 de Novembro e 13 de Dezembro de 2002.



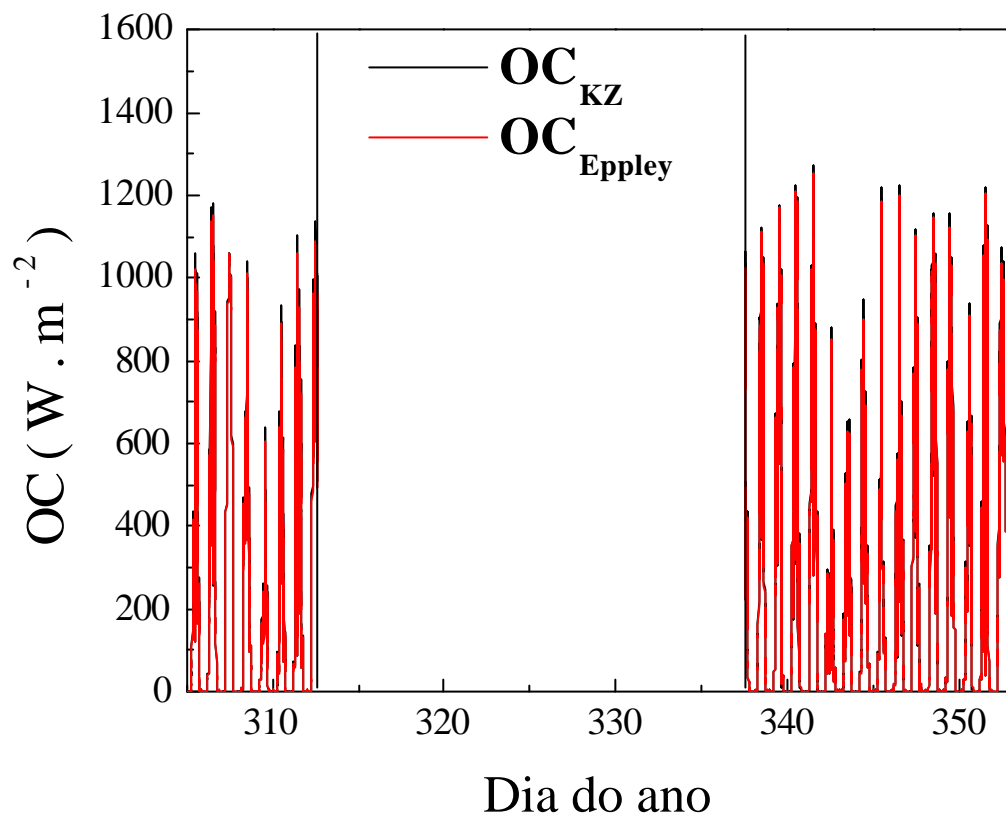
**Figura 16** – Evolução temporal da intensidade do vento, no período entre 01 de Novembro e 18 de Dezembro de 2002.



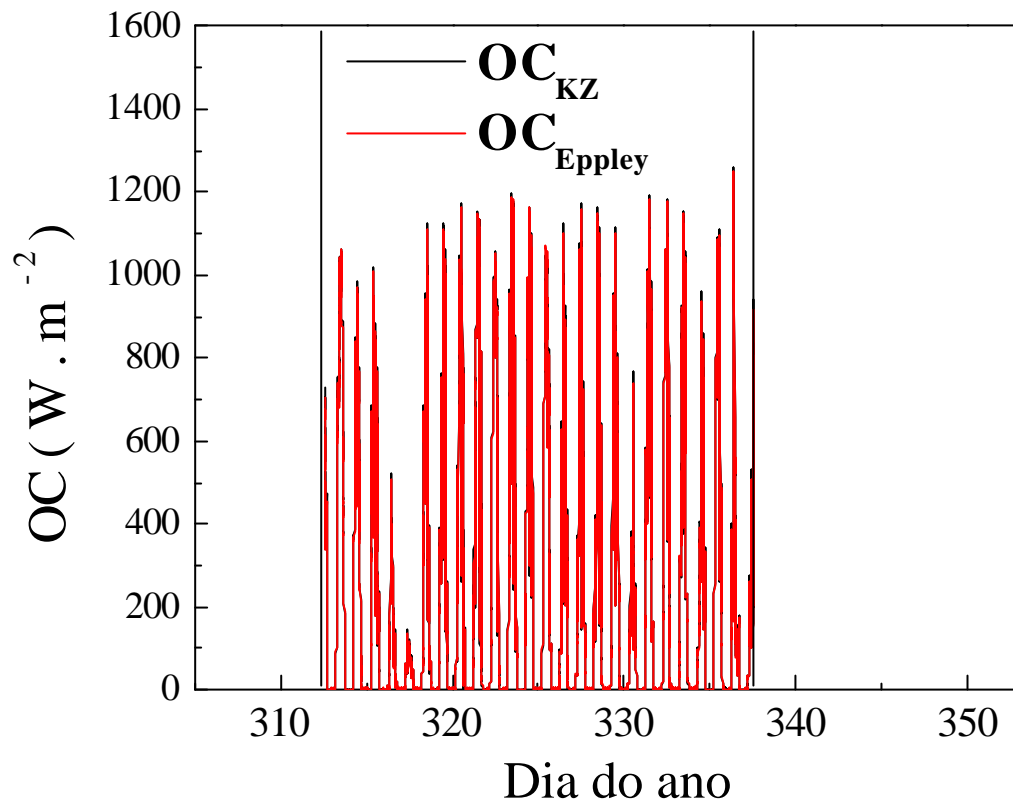
**Figura 17** – Direção do vento entre 01 de Novembro e 18 de Dezembro de 2002 .



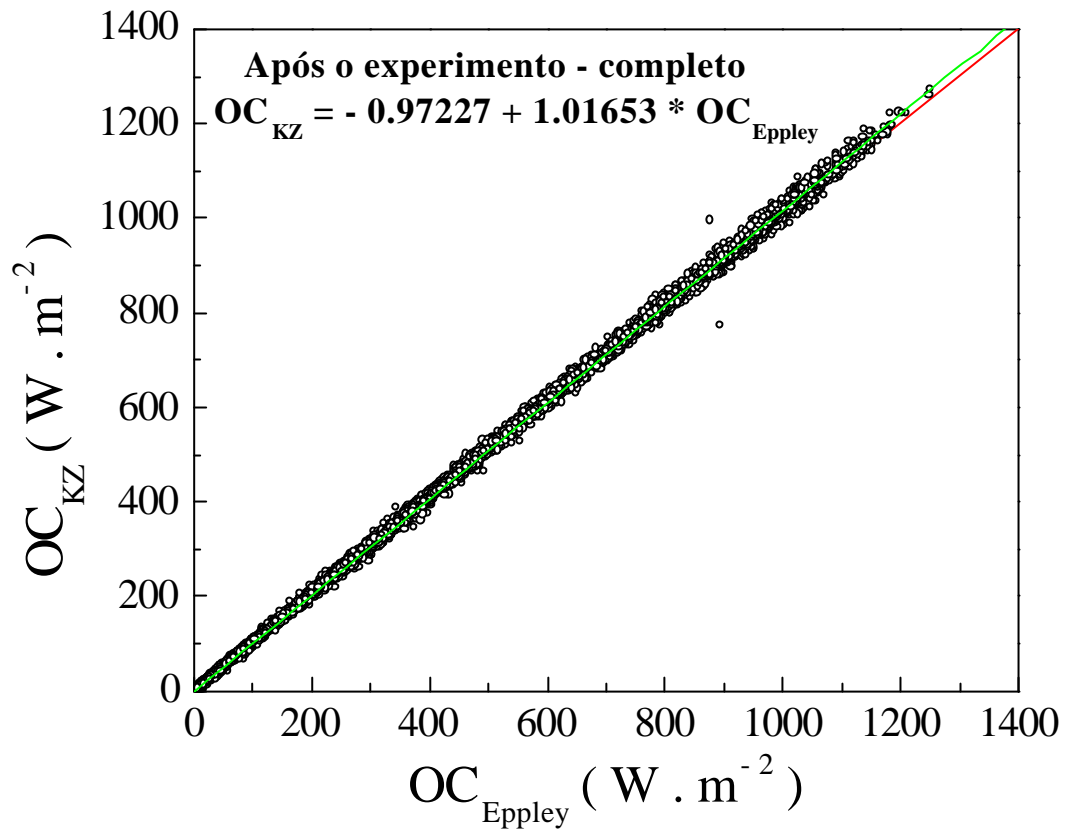
**Figura 18** – Radiação solar global observada entre 01 de Novembro e 18 de Dezembro de 2002.



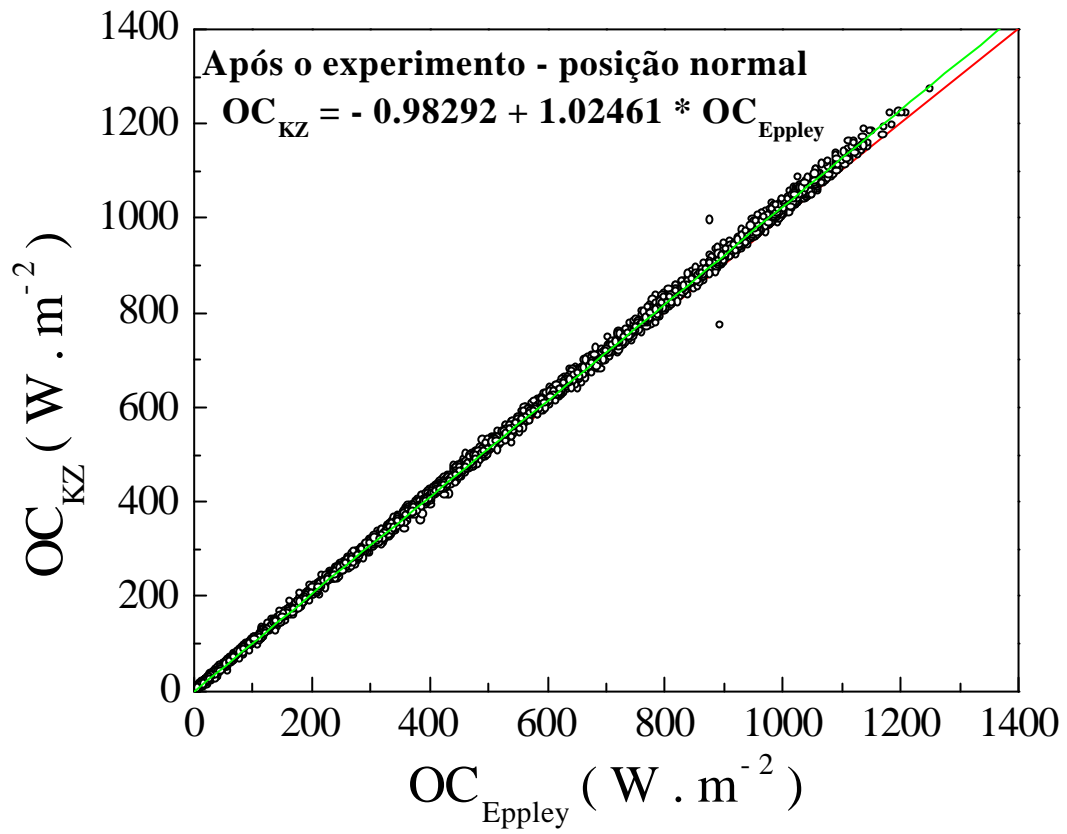
**Figura 19** – Radiação solar global para os períodos com o sensor KZ na posição normal.



**Figura 20** – Radiação solar global para o período com o sensor KZ na posição invertida.

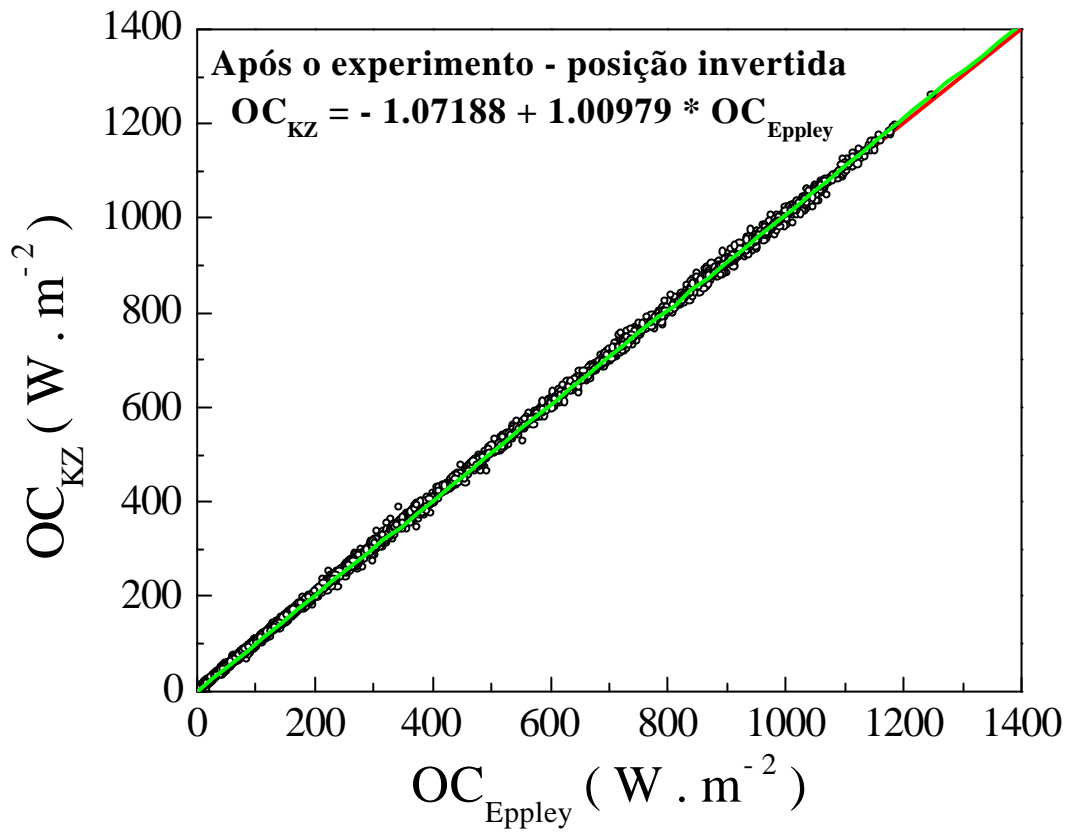


**Figura 21** – Radiação solar global KZ x Eppley, no período entre 01 de Novembro e 18 de Dezembro de 2002.

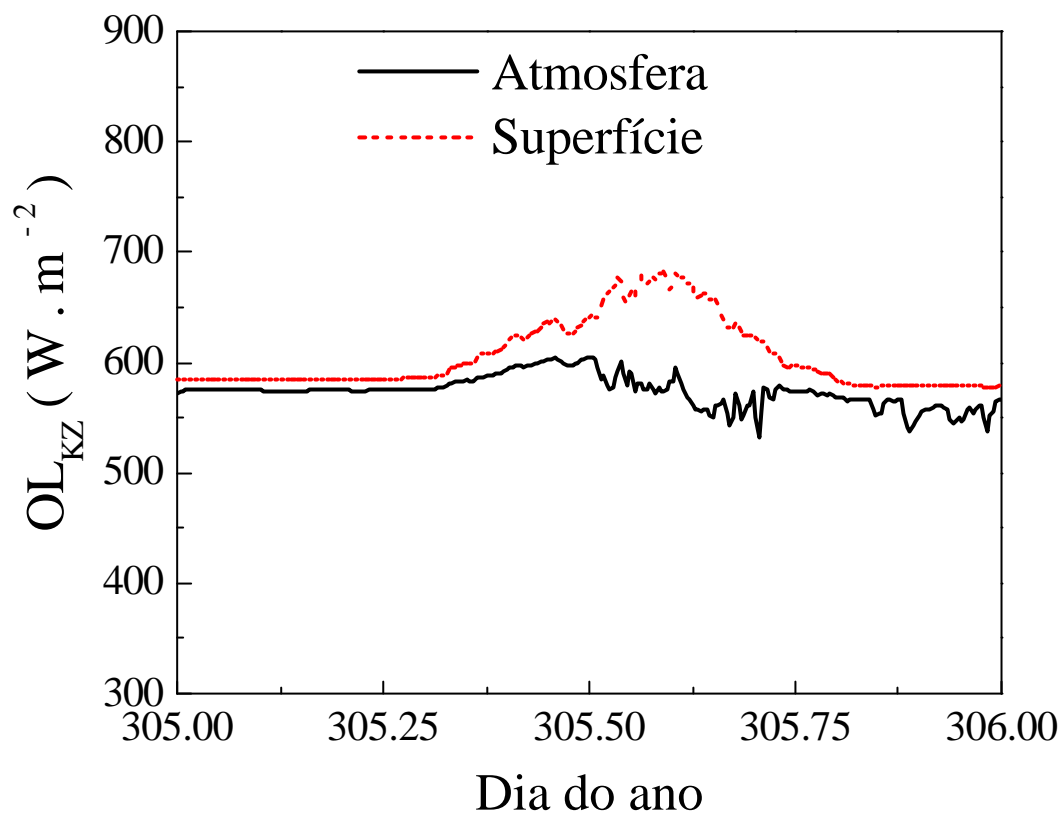


**Figura 22** – Radiação solar global KZ x Eppley, com o sensor KZ na posição normal

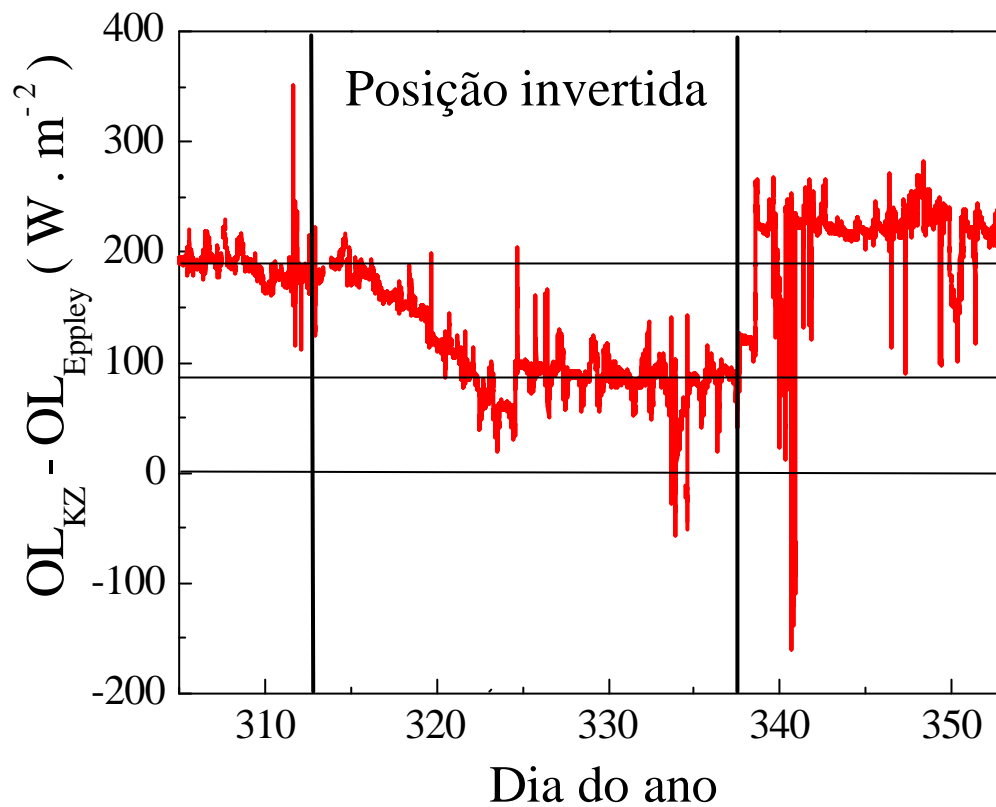




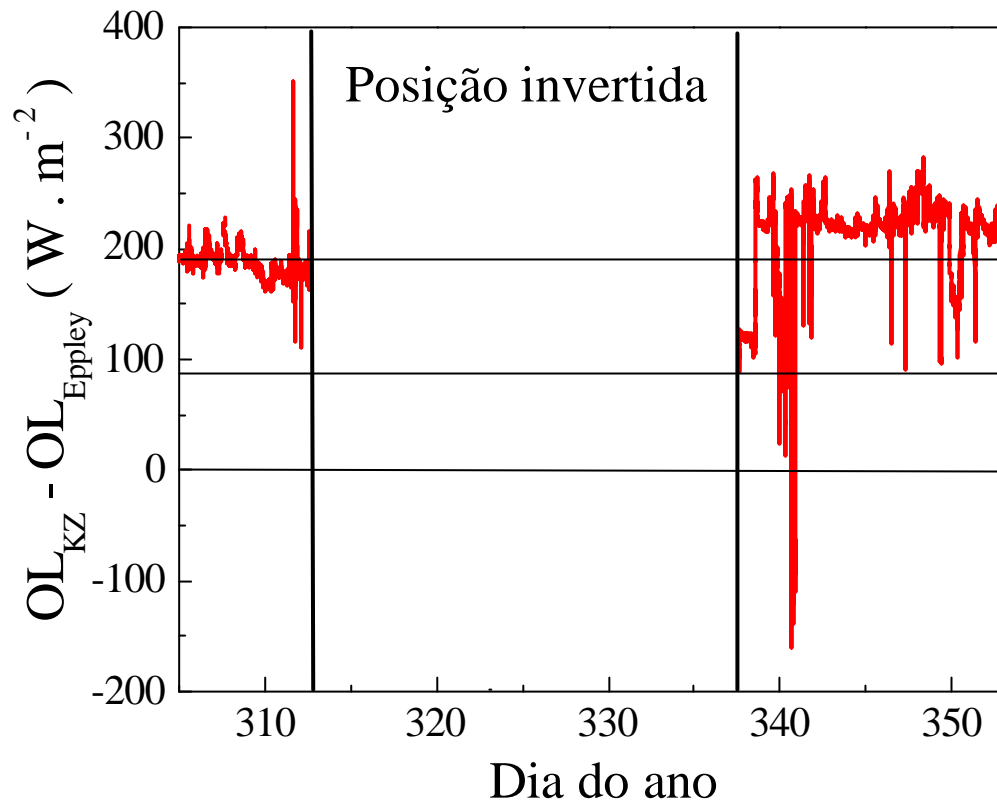
**Figura 23** – Radiação solar global KZ x Eppley, com o sensor KZ na posição invertida.



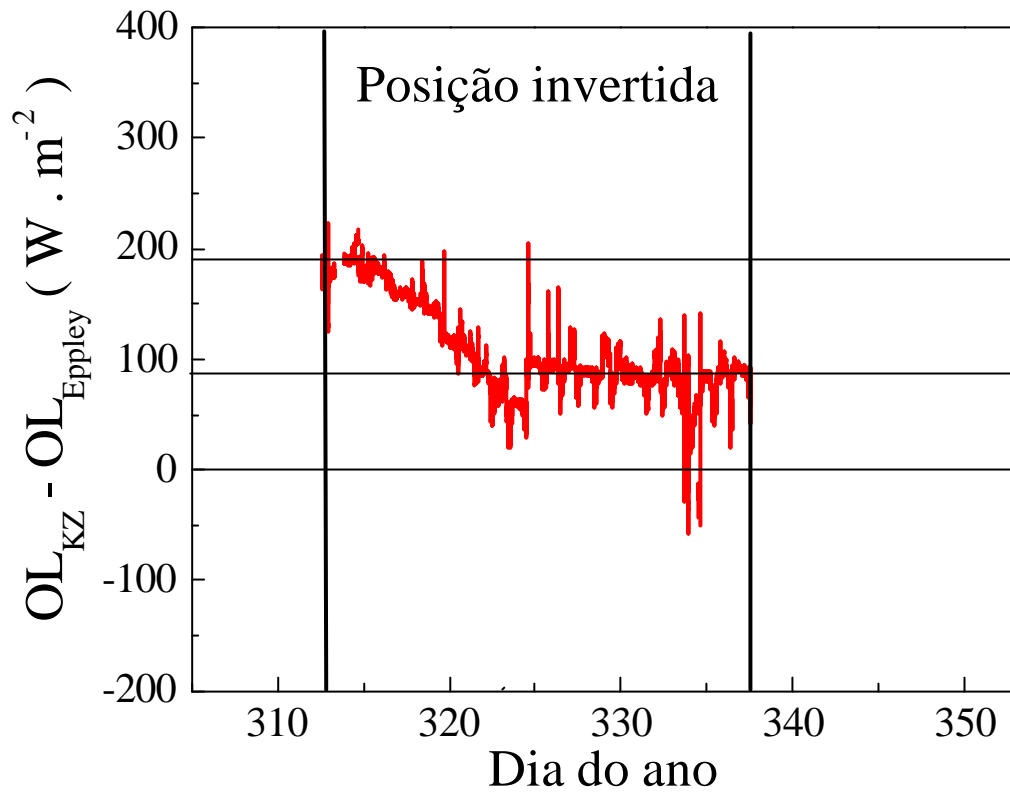
**Figura 24** – Radiação de onda longa observada em 01.11.02, emitida pela atmosfera e pela superfície.



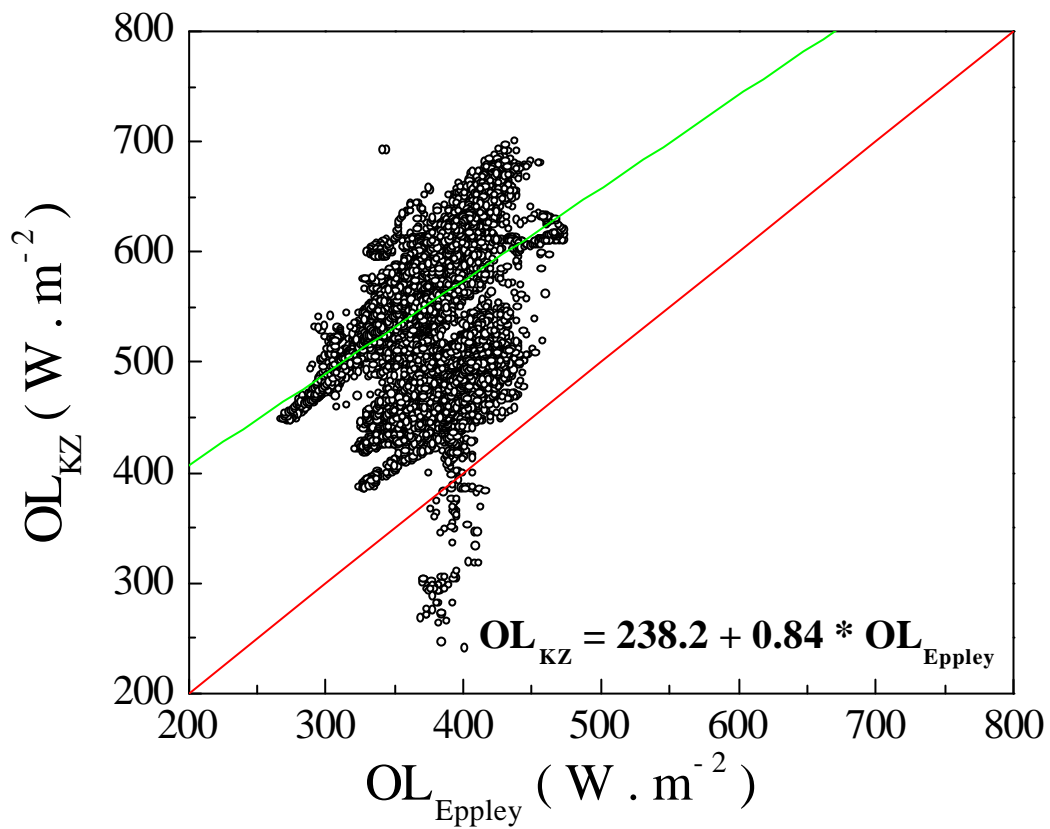
**Figura 25** – Desvio absoluto para as observações de onda longa, no período entre 01 de Novembro e 18 de Dezembro de 2002.



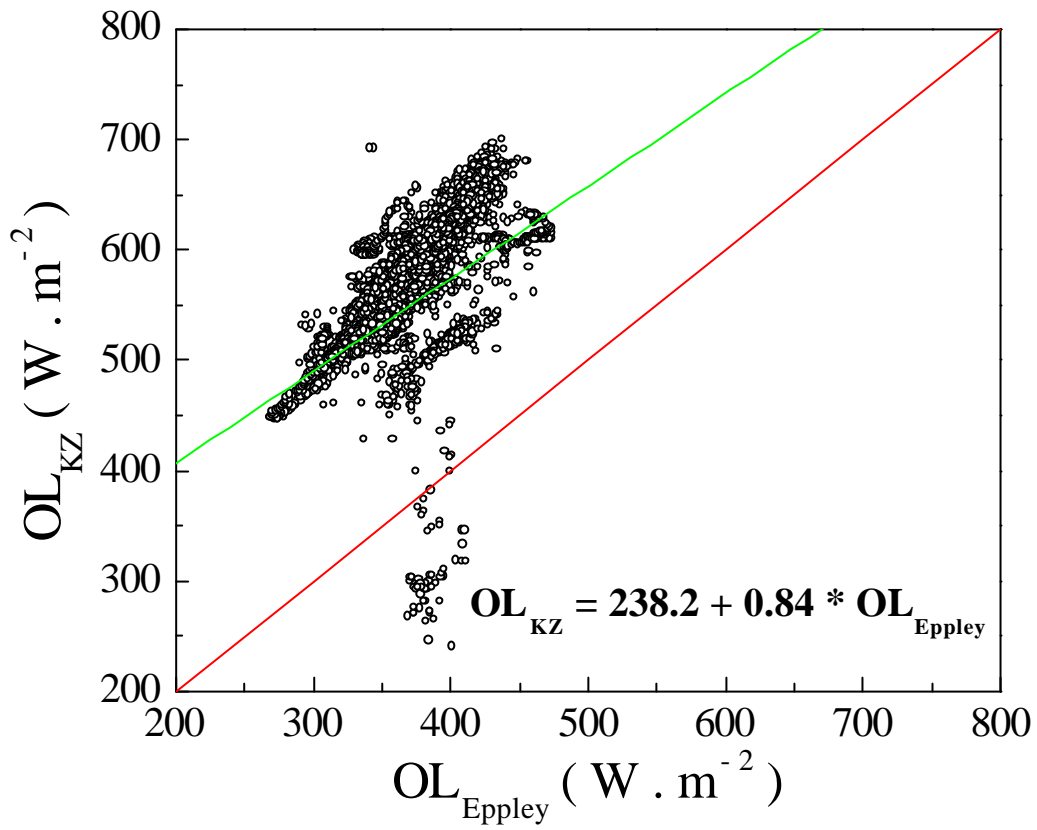
**Figura 26** – Desvio absoluto para as observações de onda longa, com o sensor KZ na posição normal.



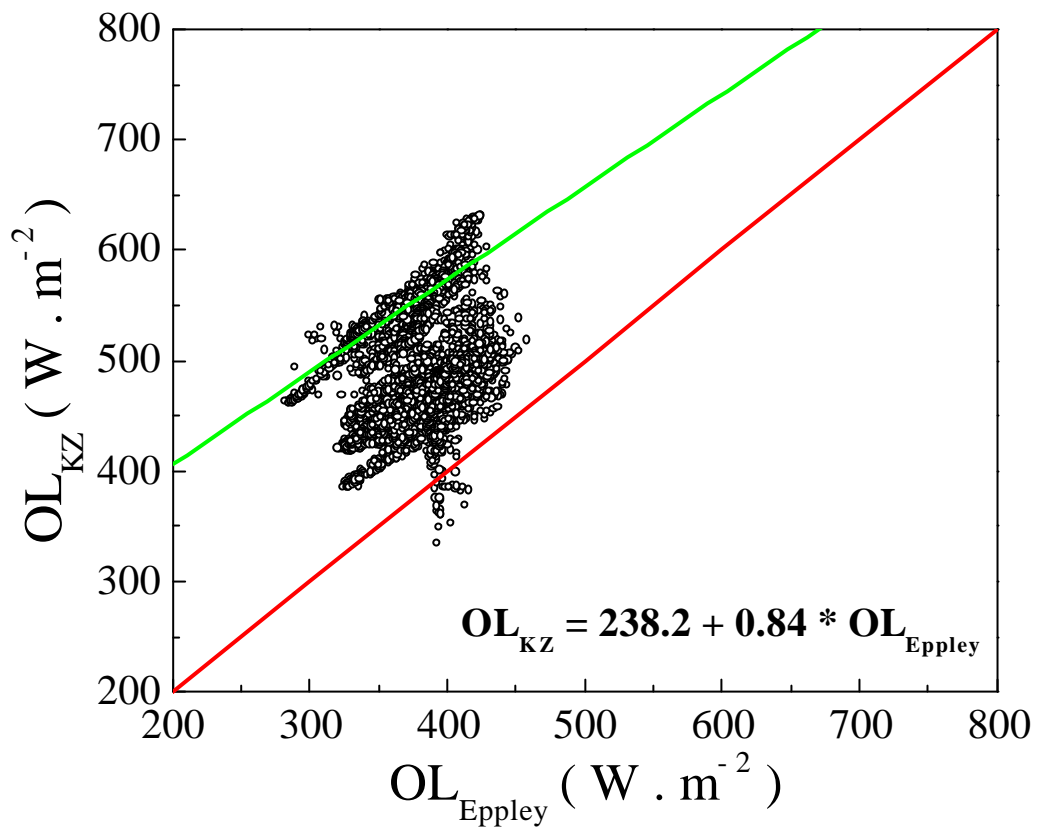
**Figura 27** – Desvio absoluto para as observações de onda longa, com o sensor KZ na posição invertida.



**Figura 28** – Radiação de onda longa KZ x Eppley, para o período entre 01 de Novembro e 18 de Dezembro de 2002.

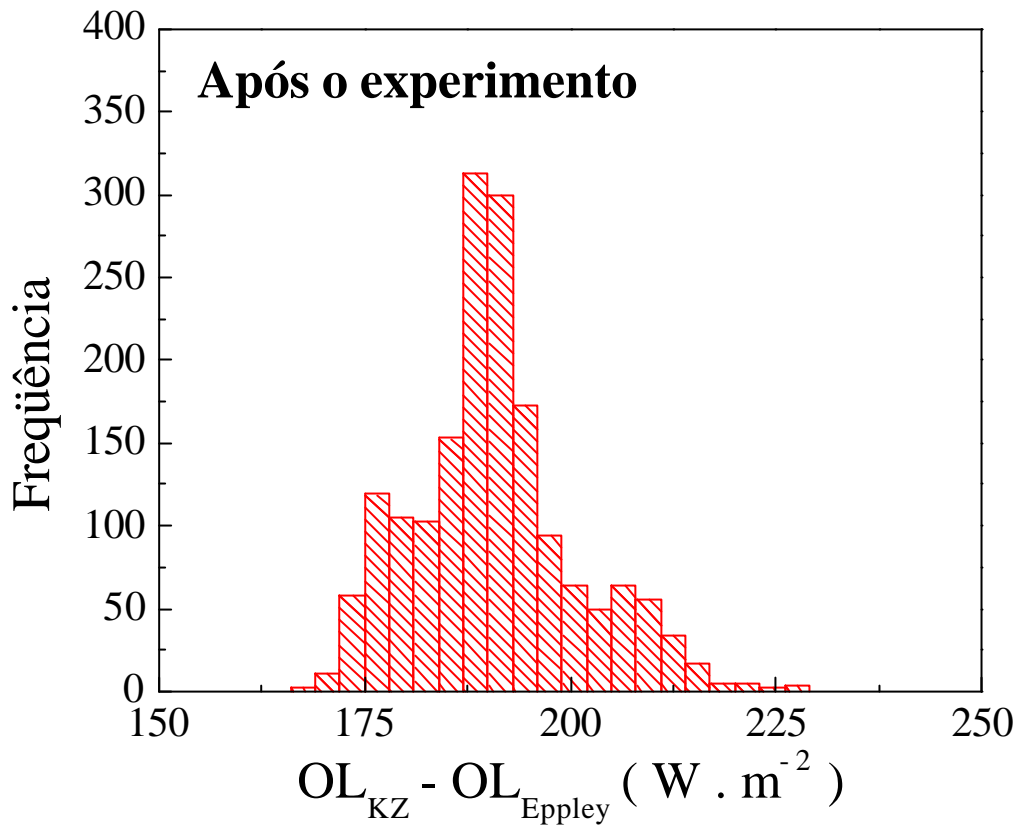


**Figura 29** – Radiação de onda longa KZ x Eppley, com KZ na posição normal.

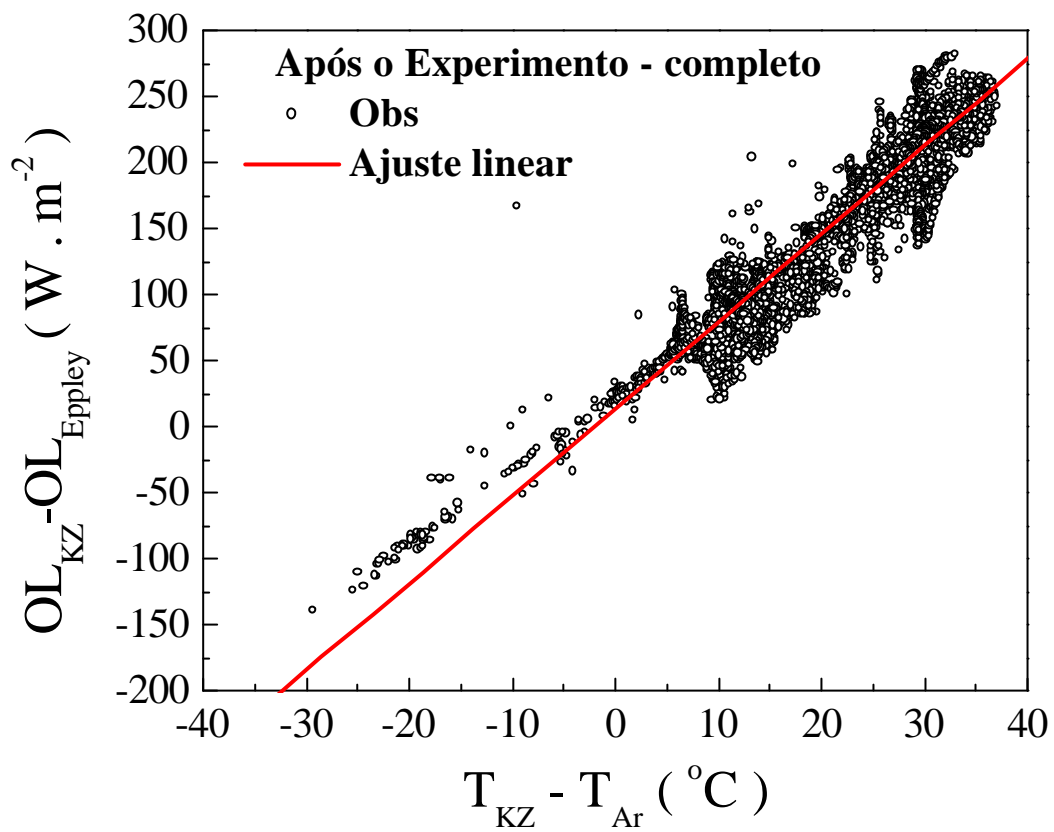


**Figura 30** – Radiação de onda longa KZ x Eppley, com KZ na posição invertida.

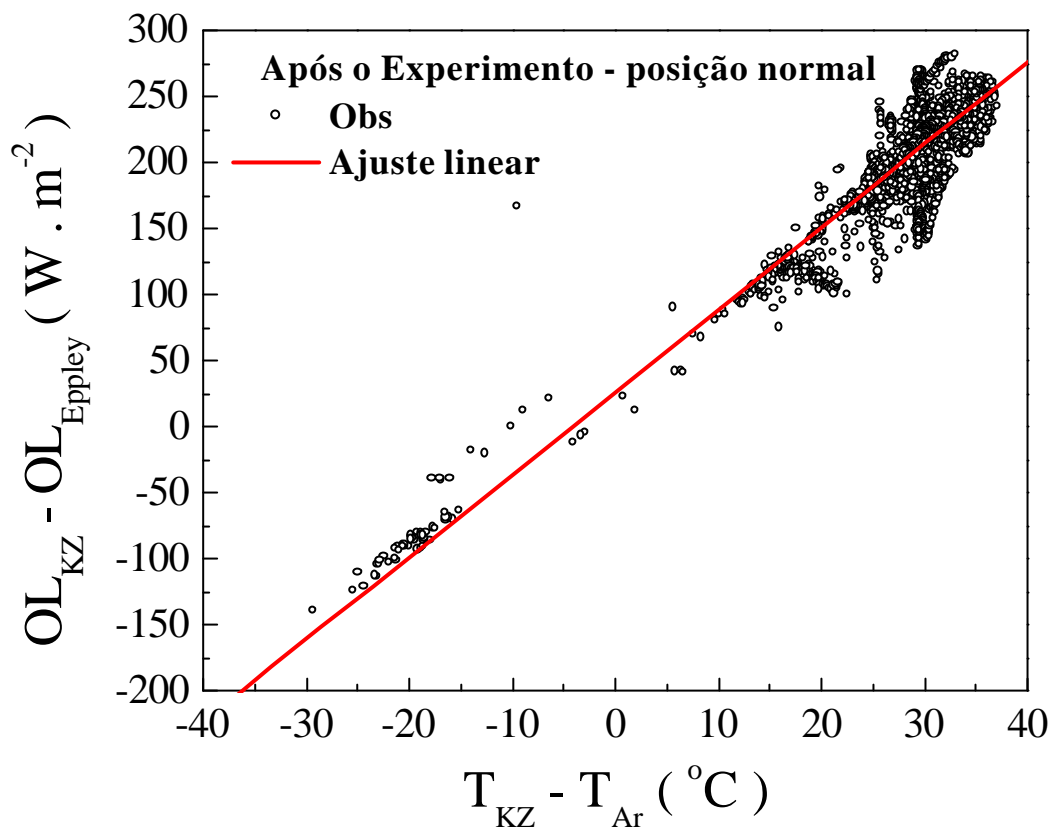




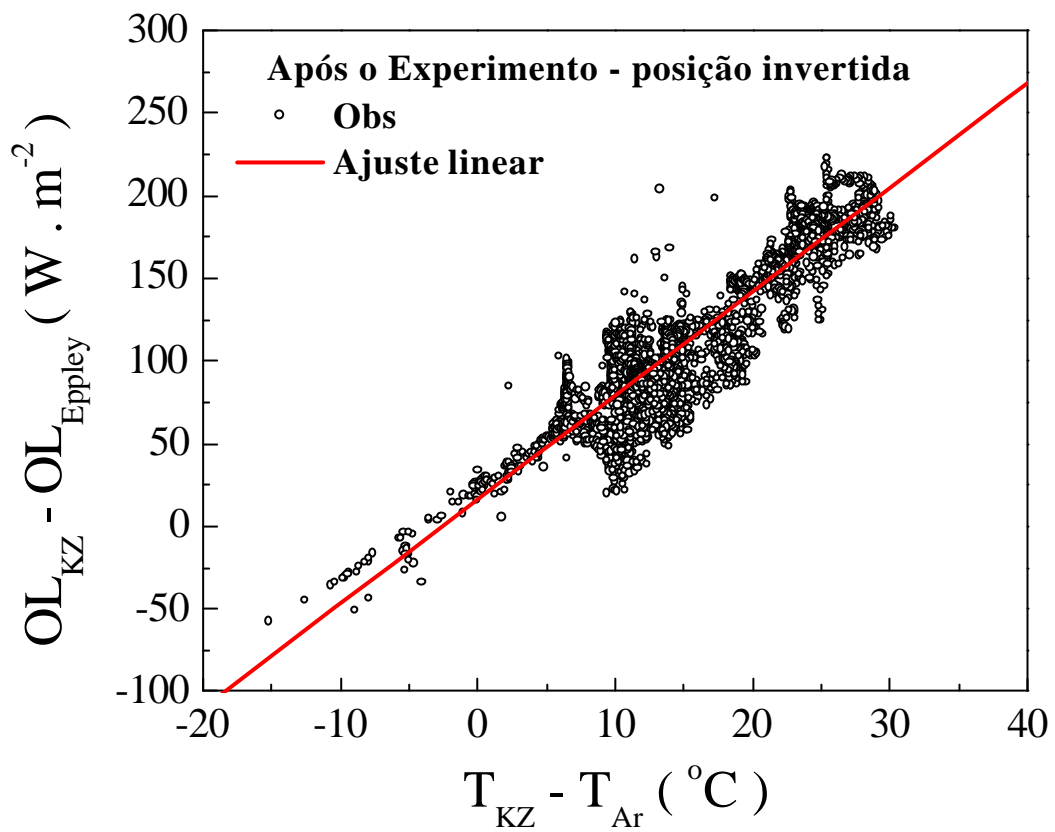
**Figura 31** – Distribuição da frequência do erro da onda longa associada ao sensor KZ, após o experimento.



**Figura 32** - Desvio absoluto da radiação atmosférica de onda longa.

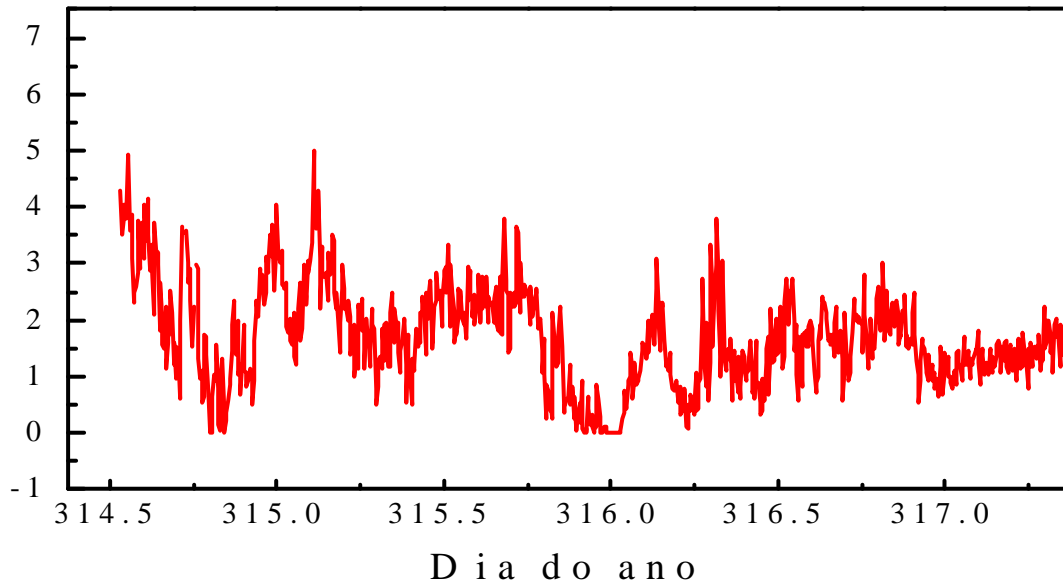
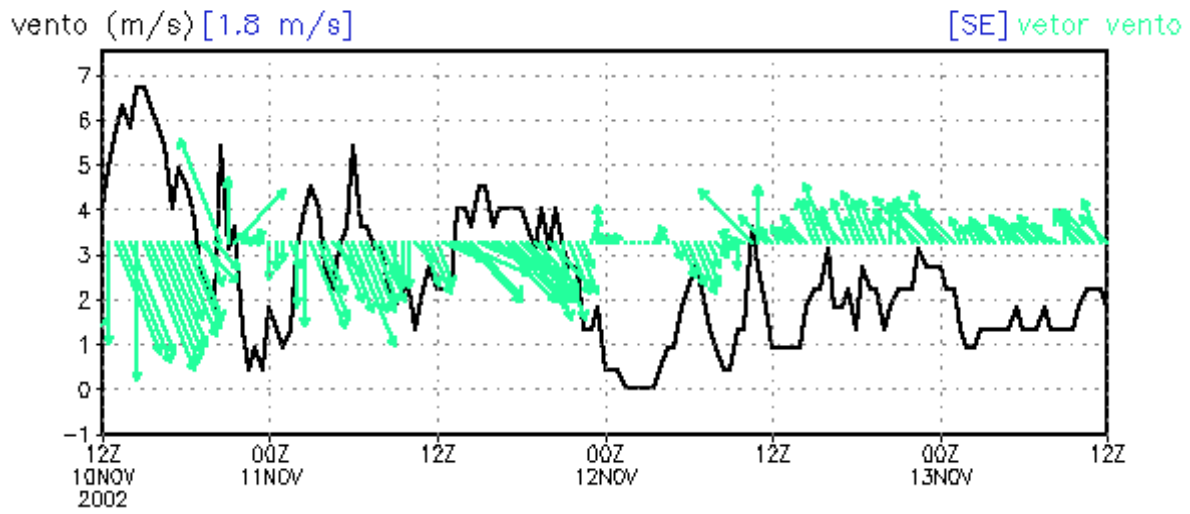


**Figura 33** – Desvio absoluto da radiação de onda longa, com o sensor KZ na posição normal.



**Figura 34** – Desvio absoluto da radiação de onda longa, com o sensor KZ na posição invertida.

ESTAÇÃO AUTOMÁTICA – IAG/USP (46,733W 23,559S)



**Figura 35** – Velocidade do vento obtida entre os dias 10 e 13 de novembro de 2002, na Plataforma Micrometeorológica (abaixo), com os sensores utilizados no experimento FluTuA e outro sensor distinto (acima – fonte: <http://www.master.iag.usp.br/ind.php?inic=00&prod=estacao>).

ESTAÇÃO AUTOMÁTICA – IAG/USP (46,733W 23,559S)

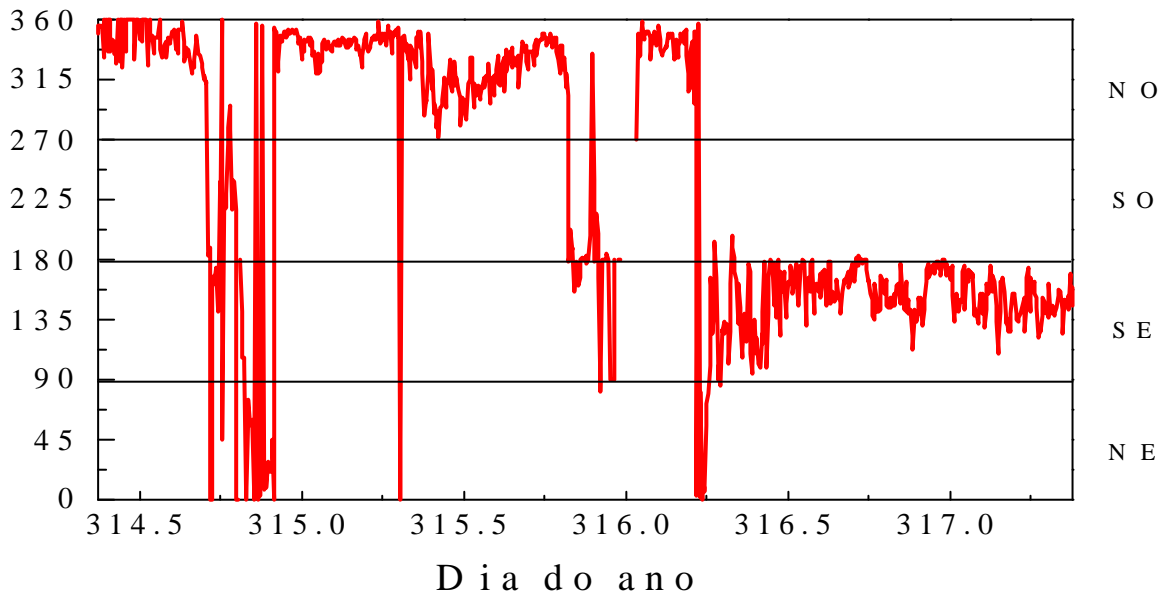
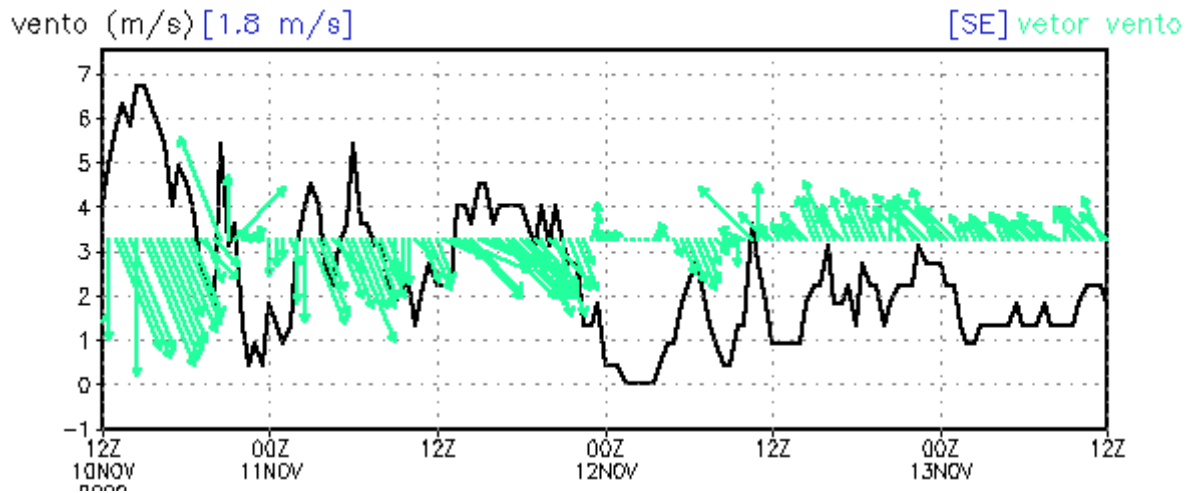


Figura 36 – Idem à Figura 35, para a direção do vento.

## **APÊNDICE – A**

### **Programação do sistema de aquisição de dados**