

## CICLO DIURNO-NOTURNO DA RADIAÇÃO DE ONDA LONGA ATMOSFÉRICA (LW) HORÁRIA EM BOTUCATU/SP/BRASIL.

J. Escobedo<sup>1</sup>, E. Gomes<sup>2</sup>, A. Dal Pai<sup>3</sup>, D. Martins<sup>4</sup>, A. Oliveira<sup>5</sup>, J. Soares<sup>6</sup>, E. Bárbaro<sup>7</sup>

1. Físico, Prof. Dr, Depto. de Recursos Naturais, FCA, UNESP, São Paulo - SP, Fone: (0 xx 14) 3811 7162, [escobedo@fca.unesp.br](mailto:escobedo@fca.unesp.br).

2. Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Pós-Doutorando, bolsista PDJ-CNPq, Depto. de Recursos Naturais, FCA/UNESP, Botucatu - SP.

3. Físico, Professor Dr., Faculdade de Tecnologia de Botucatu, FATEC.

4. Eng<sup>o</sup> Florestal, Professor Dr., Depto. de Recursos Naturais, FCA/UNESP, Botucatu - SP.

5. Meteorologista, Prof. Dr., Departamento de Ciências Atmosféricas, IAG, USP, São Paulo, Brasil.

6. Meteorologista, Profa. Dra., Departamento de Ciências Atmosféricas, IAG, USP, São Paulo, Brasil.

7. Meteorologista,, Departamento de Ciências Atmosféricas, IAG, USP, São Paulo, Brasil.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de setembro de 2009 – Minas Centro, Belo Horizonte, MG.

**RESUMO.** No trabalho é apresentada a série diurno/noturno anual da radiação de onda longa (LW) horária medida em Botucatu/SP/Brasil. Os valores de LW mais elevados ocorreram no verão onde a temperatura, nebulosidade, vapor d'água são mais elevadas do ano, e os menores valores no inverno, condições climáticas contrária a do verão. Os ciclos diurno-noturna anual da LW horária e da temperatura do ar ( $T_a$ ) geraram equações de estimativa com elevados coeficientes de determinação ( $R^2$ ). O modelo estatístico foi validado, por meio do coeficiente de determinação com resultados positivos estatisticamente.

**PALAVRAS CHAVES:** radiação de onda longa e radiação de onda longa atmosférica.

### DIURNAL (24h) EVOLUTIONS OF DOWNWARD ATMOSPHERIC LONGWAVE RADIATION (LW) AT THE SURFACE IN BOTUCATU/SÃO PAULO/BRAZIL

**ABSTRACT.** In this work the diurnal (24h) evolutions of downward atmospheric longwave radiation (LW) at the surface is described. They are based on observations carried out in Botucatu, São Paulo, Brazil. The observations indicated that LW is larger during summer when SW radiation, air temperature, cloudiness and water vapor are higher and LW is smaller during winter. The diurnal evolution of LW follows the diurnal evolution of air temperature at the surface. A set of linear equations were obtained by linear regression fitting that estimate the hourly values of LW with large determination coefficient ( $R^2$ ). These estimative equations were validated using determination coefficients with good results.

**KEYWORDS:** longwave radiation, downward atmospheric longwave radiation.

**1. INTRODUÇÃO:** O conhecimento da energia diurno-noturna da radiação de onda longa atmosférica (LW), por meio de medidas (séries temporais) ou por modelos de estimativas (Brunt,1932; Swinbank, 1963; Brutsaert,1975; Prata,1996; Niemelä, 2001, entre outros) são importantes para os estudos climáticos, balanço de energia em superfícies e ciências térmicas, pois permitem o desenvolvimentos de projetos otimizados.

Com o propósito de conhecer melhor a energia da LW no dia e noite, e a sua dependência climática, a Estação de Radiometria Solar de Botucatu/SP/Brasil monitora essa radiação

desde o ano 2000. A base de dados já é suficiente em função do número de horas para indicar as tendências dessa radiação no ciclo diurno. O desenvolvimento do estudo é importante porque a atmosfera local recebe todos os anos no período da seca, entre julho e novembro, elevadas concentrações aerossóis devido à queima da cana-de-açúcar. Assim, o presente trabalho teve por objetivo analisar a sazonalidade da radiação atmosférica de onda longa horária em função das variações climáticas e propor e validar um modelo estatístico de estimativa para a evolução diurno-noturno de LW média horária anual.

**2. MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado na Estação de Radiometria Solar de Botucatu, FCA, UNESP, Botucatu-SP (latitude de 22°54' S, longitude de 48°27' W e altitude de 786 m). O clima é temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno. Os meses de fevereiro e julho são o mais quente e frio do ano, respectivamente, com temperaturas médias de 23,2C<sup>0</sup> e 17,1C<sup>0</sup>, enquanto que fevereiro e agosto são os meses mais e o menos úmidos, com percentuais de 78,2% e 61,80% respectivamente. Os meses de maior e menor número de horas de brilho solar ocorrem em agosto e fevereiro com totais de 229h e 175,28h respectivamente. A maior precipitação ocorre no mês de janeiro com total de 260,7mm e a mínima em agosto com 38,2mm. A medida da irradiância atmosférica LW em W/m<sup>2</sup> foi realizada através de um pirgeômetro, modelo CG1 da Kipp & Zonen (10,75 μV W<sup>-1</sup> m<sup>2</sup>). Segundo o fabricante, para cada 1000 W m<sup>-2</sup> de radiação solar perpendicularmente incidente na janela plana do pirgeômetro, são gerados 25 W m<sup>-2</sup> de onda longa. Portanto a correção foi aplicada pela expressão:

$$L = L_{obs} - 0,025R_g$$

onde  $L_{obs}$  é a média de 5 minutos da irradiância de onda longa registrada e  $R_g$  é a média de 5 minutos da irradiância global, medidas simultaneamente. A irradiância global na horizontal foi medida através de um piranômetro Eppley (7,45 μV W<sup>-1</sup> m<sup>2</sup>). A temperatura e a umidade relativa do ar foram medidas através de um sensor HMP45C (Vaisala). Na aquisição e armazenamento dos dados, utilizou-se um “datalogger”, modelo 23X da Campbell Scientific, programado para armazenar médias de 5 minutos das irradiâncias, temperatura e umidade relativa.

**3. RESULTADOS E DISCUSSÕES:** A figura 1 mostra a evolução temporal da radiação de ondas longas LW horária e da radiação SW, temperatura, umidade, nebulosidade e precipitação do período de 2000 a 2002 como uma amostra. O ciclo anual da LW é periódico e as variações sazonais são resultantes das variações da radiação de onda curta SW, e conseqüentemente, das variações dos parâmetros meteorológicos como temperatura, nebulosidade, vapor d'água. Os maiores valores de LW ocorreram no verão, onde a radiação de ondas curtas SW, temperatura, nebulosidade,

precipitação e umidade, foram mais elevadas, e são menores no inverno onde as condições climáticas são contrárias as do verão.

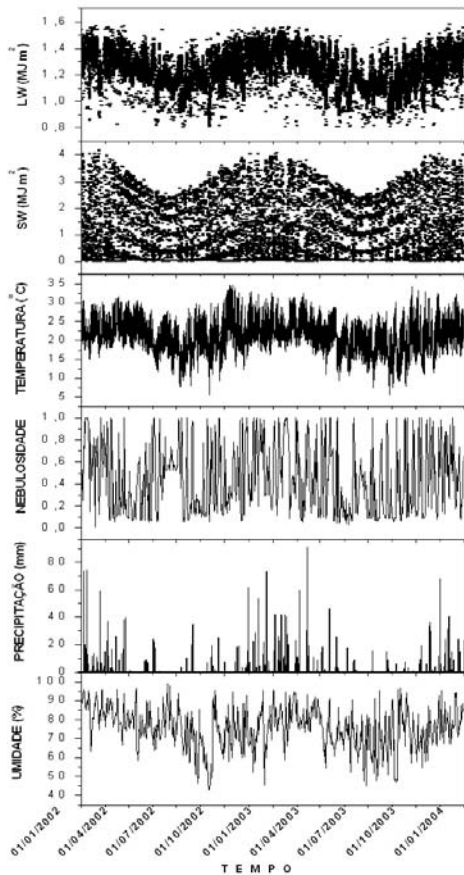


Figura 1. Evolução temporal da radiação de ondas longa horária LW, radiação de onda curta.

A figura 2 mostra: a) a evolução da LW diurno/noturno para cada ano de 2000 a 2005; b) a evolução média da LW entre os anos e com os desvios da média (modelo experimental); 3c) evolução diurno/noturna da temperatura do ar.

O ciclo médio anual diurno/noturno da LW horária (fig.2b) acompanhou a evolução da temperatura (fig.2c). O ciclo iniciou as 00:05h com a radiação LW decrescendo continuamente do valor  $1,228\text{MJ/m}^{-2}$  até as 6:30h, onde atingiu o

valor mínimo de  $1,210\text{MJ/m}^{-2}$  no nascer do sol e na condição de menor temperatura do dia, finalizando a primeira parte do ciclo noturno.

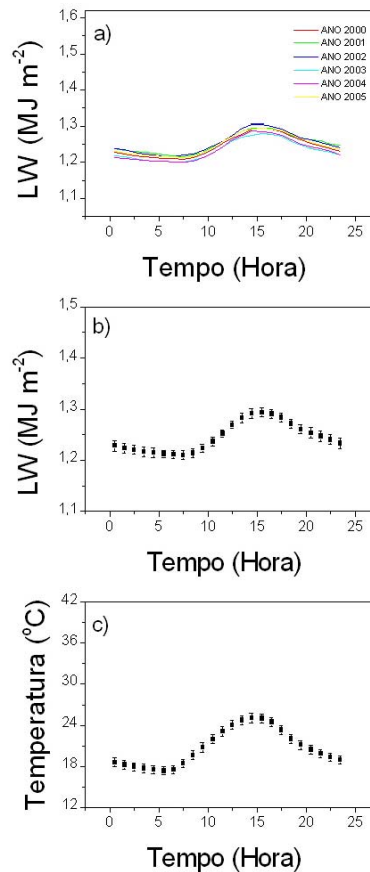


Figura 2. a) Evolução diurno/noturna da LW dos 6 anos; b) a evolução diurno/noturna da LW com os desvios da média; c) evolução diurno/noturna da temperatura média

Na fase diurna, a radiação LW cresceu gradativamente das 06:30h até às 15:30h, onde passou por um valor máximo igual a  $1,293\text{MJ/m}^{-2}$  na temperatura mais elevada do dia, e em seguida decresceu continuamente até as 24:00h, terminando o ciclo diurno as 18:00h com LW igual a  $1,27\text{MJ/m}^{-2}$ , e em seguida decresceu continuamente até as 24:00h, terminando o ciclo diurno as 18,0h com LW igual a

1,27MJ/m<sup>2</sup>. O final do ciclo noturno foi concluído às 24:00h, com LW igual a 1,23MJ/m<sup>2</sup>. Os valores dos desvios médios de LW entre os valores médios dos anos, mostrados na figura 4, foram inferiores a 11.0% em todos os intervalos horários.

A relação entre os valores horários de LW e temperatura Ta é linear não passando pela origem e com coeficiente de correlação r = 0,9250 ( fig3a):

$$LW = 1.39 + 0.001Ta \quad (1)$$

Os valores de LW são mais elevados no período noturno e parte da tarde, exatamente nos períodos em que a temperatura do ar Ta é decrescente e a pressão de vapor da água é mais elevada. Nestas condições, a equação de estimativa subestimou a medida no período da noite nos intervalos horários das 0:00h as 5:30h e das 18:30h as 23:30h, e na parte da tarde das 15:30h as 18:30h. Os valores de LW foram menos elevados no período diurno no qual a temperatura do ar Ta é crescente e a pressão de vapor da água é decrescente. Assim, a equação superestima a medida das 6:30h as 14:30h no período da manhã.

A curva experimental entre LW e Ta na figura (3a) sugere duas relações nas quais LW e Ta estão melhores correlacionadas como mostra a figura (3 b,c). Uma correlação no período em que a temperatura é decrescente e a umidade é crescente, e a outra no período em que a temperatura é crescente e umidade decrescente.

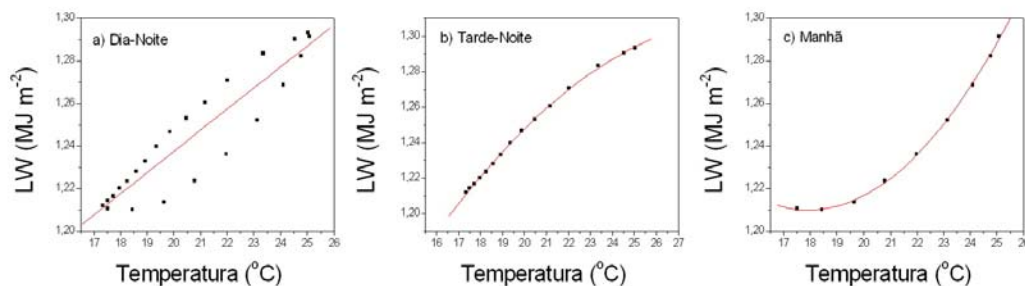


Figura 3. Relações de LW e temperatura Ta: a) ciclo de 24h, b) tarde-noite, c) manhã.

As equações de regressão obtidas para os dois períodos foram de segunda ordem com coeficientes de determinação com  $R^2 = 0.9992$  e  $R^2 = 0.9993$  respectivamente:

$$LW = 0.761 + 0.036Ta - 6.050Ta^2 \quad (2) \quad LW = 1.73 - 0.058Ta + 0.0016Ta^2 \quad (3)$$

O resultado do coeficiente de determinação mostra que os valores de LW estão muito melhor relacionados nas equações (2) e (3) com a temperatura Ta, que equação(1).

Para a validação do modelo estatístico comparou-se a medida de LW de 2006 com a estimativa de LW nos dois períodos por meio das equações (2) e (3). A comparação (fig.4) mostra a relação entre LW estimada e LW medida, numa reta passando pela origem. Os coeficientes de determinação  $R^2 = 0.9870$  e  $R^2 = 0.9591$  mostram respectivamente que as estimativas pelas equações (2) e (3) estão muito bem correlacionada com a LW medida nos dois períodos.

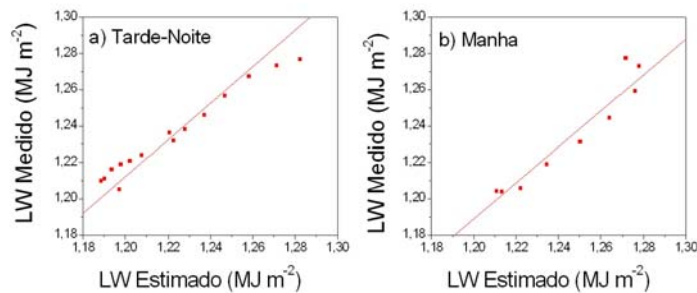


Figura 4 Validação do modelo de LW nos períodos: a) tarde noite; e b) manhã.

**4. CONCLUSÕES:** O ciclo anual da LW depende das variações climáticas. Os maiores valores de LW ocorrem no verão, onde a temperatura, nebulosidade, precipitação e umidade, são mais elevadas, e são menores no inverno. O modelo estatístico de LW em função da temperatura do ar se ajustou com coeficiente de determinação próximo de 1. Os valores dos indicativos estatísticos MBE e RMSE em percentagem obtidas na validação dos modelos indicam o bom desempenho do modelo estatístico na estimativa da LW.

**AGRADECIMENTO:** À FAPESP, e ao CNPq pelo apoio financeiro.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Brunt, D. Notes on radiation in the atmosphere. *Q. J. R. Meteorol. Soc* **58**, p. 389-420, 1932.
- Brutsaert, W. A derivable formula for long-wave radiation from a clear skies. *Water resour.* **11**, p. 742-744, 1975.
- Dilley, A.C., O'brien, D.M. Estimating downward clear sky long-wave irradiance at the surface from screen temperature and precipitable water. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **124**, p. 1391-1401, 1998.
- Idso, S.B. On the systematic nature of diurnal patherns of differences between calculation and measurements of clear sky atmospheric thermal radiation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **107**, n. 453, p. 737-741, 1981.
- Niemelä, S., Räisänen, P. Savijärvi, H. Comparison of surface radiative flux parameterization part i: longwave radiation, *atmos. Res.* **58**, p. 1-18, 2001.
- Prata, A.J. A new long-wave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **122**, p. 1127-1151, 1996.
- Sellers, W.D. 1965. *Physical climatology*, chicao: university of chicago press, 272 p.
- Stone, R.J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models, *solar energy.* **51**, n. 4, p. 289-291, 1993.
- Swinbank, W.C. Long-wave radiation from clear skies. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **110**, p. 339-348, 1963.