

RELAÇÕES HORÁRIA ENTRE RADIAÇÕES DE ONDA LONGA ATMOSFÉRICA (LW) E DE ONDA CURTA (SW) EM BOTUCATU/SP/BRASIL.

E.N. Gomes¹, J.F. Escobedo², A. Dal Pai³

1. Eng^o Agrônomo, Pós-Doutorando, bolsista PDJ-CNPq, Depto. de Recursos Naturais, FCA/UNESP, Botucatu - SP. engomes@fca.unesp.br

2. Físico, Prof. Dr., Depto. de Recursos Naturais, FCA, UNESP, Botucatu - SP, Fone: (0 xx 14) 3811 7162,

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

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG.

RESUMO: No trabalho é apresentada a correlação entre as radiações de onda longa atmosférica (LW) e de onda curta (SW), para uma base de dados horária medida no período de 2000 a 2006 em Botucatu/SP/Brasil. A evolução temporal das duas radiações LW e SW mostrou que a radiação de onda longa depende da radiação global. A equação de correlação da radiação LW horária obtida em função da radiação SW, por meio do índice de claridade horário Kt, é do tipo linear: $LW = 1,40 - 0,25Kt$ com coeficiente de determinação próximo de 1 ($R^2 = 0.9707$). O fator de intercepto **a** na equação é o valor máximo da radiação de LW e representa a contribuição da atmosfera do período noturno, enquanto que, termo **b** expressa a taxa de decréscimo da LW em função da variação da cobertura de céu desde nebuloso e úmido ($Kt < 0.35$) até sem nuvens e seca ($Kt > 0.65$). A análise sazonal, comparação da equação total com as equações sazonais para as quatro estações do ano, mostrou que a equação total subestima a LW no verão e primavera e superestima no outono e no inverno, para qualquer valor de Kt.

PALAVRAS-CHAVE: radiação de onda longa, radiação de onda curta.

RELATIONSHIP BETWEEN HOURLY ATMOSPHERIC LONG-WAVE RADIATION (LW) AND SHORTWAVE RADIATION (SW) IN BOTUCATU / SP / BRASIL.

ABSTRACT: In this work is presented the correlation between the atmospheric long-wave radiation (LW) and shortwave radiation (SW) from a hourly database from 2000 to 2006 in Botucatu/SP/Brazil. The temporal evolution of both LW and SW radiations showed that the long-wave radiation depends on the global radiation, and the equation of correlation of hourly LW radiation as function of SW radiation, using hourly clearness index Kt, is linear: $LW = 1.40 - 0.25 Kt$ with coefficient of determination close to 1 ($R^2 = 0.9707$). The intercept factor **a** in the equation is the maximum value of LW radiation and represents the contribution of the atmosphere on the night period, whereas the term **b** expresses the decline rate of LW as function of the sky coverage from cloudy and wet ($Kt < 0.35$) to cloudless and dry ($Kt > 0.65$). The seasonal analysis, comparing the total with the total seasonal equations for the four seasons showed that the total equation underestimates the LW in the summer and spring and overestimates the LW in the Autumn and Winter, for any Kt value.

KEYWORDS: longwave radiation, shortwave radiation.

1. INTRODUÇÃO: O conhecimento da radiação de onda longa atmosférica (LW), por meio de medidas (séries temporais) ou por modelos de estimativas clássicos (Brunt, 1932; Swinbank, 1963; Prata, 1996; Niemelä, 2001, entre outros), é importante para os estudos climáticos, balanço de energia em superfícies, e ciências térmicas. Com o propósito de conhecer melhor os níveis

horários da energia da LW no dia e noite, a Estação de Radiometria Solar de Botucatu/SP/Brasil monitora essa radiação desde o ano 2000. O desenvolvimento do estudo também tem interessante ambiental porque a atmosfera local recebe todos os anos no período da seca, entre julho e novembro, elevadas concentrações de matérias particuladas devido à queima da cana-de-açúcar. Assim, o presente trabalho teve objetivos de analisar a sazonalidade da radiação atmosférica de onda longa horária do período de 2000 a 2006 em função dos parâmetros climáticos como radiação global, nebulosidade, umidade, precipitação e aerossóis; propor um modelo de estimativa em função da radiação de ondas curtas e validar o modelo para uma base de dados independente (ano de 2006).

2. MATERIAIS E MÉTODOS: O experimento foi realizado na Estação de Radiometria Solar de Botucatu, FCA, UNESP, Botucatu-SP, com coordenadas geográficas: 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, como descrito em demais artigos descritos neste evento.

A medida da irradiância atmosférica LW foi realizada através de um pirgeômetro, modelo CG1 da Kipp & Zonen com fator de calibração de 10,75 $\mu\text{V W}^{-1} \text{m}^2$. O pirgeômetro é um instrumento de monitoramento padrão da radiação LW. O detector térmico é protegido por uma janela de silício que é internamente revestida por uma película que evita a chegada da radiação solar ao detector térmico. O aquecimento da janela de silício, provocado pela radiação solar, faz a temperatura da janela ficar superior à temperatura da termopilha, e isto gera um sinal espúrio que deve ser eliminado. Para cada 1000 W m^{-2} de radiação solar perpendicularmente incidente na janela plana do pirgeômetro, são gerados 25 W m^{-2} de onda longa. Portanto a correção foi aplicada pela expressão:

$$L = L_{obs} - 0,025R_g \quad (1)$$

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, com fator de calibração igual a 7,45 $\mu\text{V W}^{-1} \text{m}^2$. 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 de ondas curtas SW do período de 2000 a 2006, num total de 60386 observações.

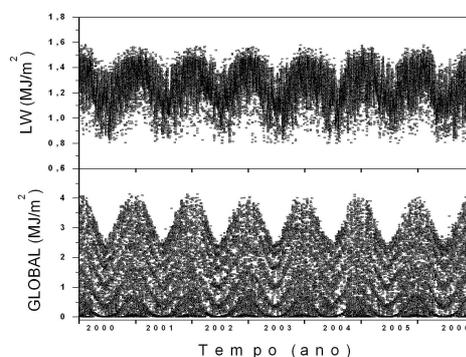


Figura 1. Evoluções das radiações LW e SW horária do período de 2000 a 2006 .

O ciclo anual da LW é periódico e as variações sazonais são resultantes das variações astronômica (dia) e geográfica (local) da radiação SW, e conseqüentemente, das variações dos parâmetros meteorológicos como temperatura, nebulosidade, vapor de água. Os maiores valores de LW ocorrem no verão, onde a radiação SW, temperatura, nebulosidade, precipitação e umidade são mais elevadas, e menores no inverno, onde as condições climáticas quanto a radiação SW, temperatura, nebulosidade, precipitação e umidade são contrárias as do verão, e são menos elevadas no ano.

A figura 2 mostra a correlação dos valores horários de LW em função do índice de claridade horário Kt. A distribuição dos pontos experimentais mostra que a radiação LW varia no sentido vertical e horizontal em função de Kt: Na vertical, a radiação LW possui um largo intervalo de variação para cada intervalo infinitesimal de Kt.

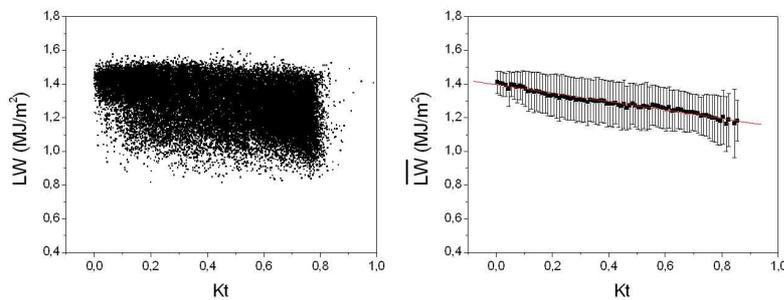


Figura 2. Correlação dos valores horários de LW em função do índice de claridade horário e médios de \overline{LW} em função do índice de claridade horário centesimal Kt.

No trabalho optou-se em utilizar na correlação a radiação \overline{LW} média para cada intervalo centesimal Kt. Esta técnica foi utilizada por diversos pesquisadores, para facilitar ajustes de uma função simples e visualizar as tendências das frações difusa K_d e direta K_b , com intervalos centesimais de Kt (Erbs et al., 1982). Na variação horizontal, os valores da radiação \overline{LW} decrescem lentamente no sentido em que Kt aumenta, devido ao decréscimo de concentrações de nuvens e vapor d'água na atmosfera, decorrentes das mudanças de cobertura do céu no sentido do céu nebuloso, parcialmente nublado e aberto. As nuvens e pressão de vapor, e o índice de claridade guardam entre si uma forte correlação inversa: quanto menor a concentração de nuvens e vapor d'água, menor é a absorção da radiação infravermelha, e por conseqüência, maior a radiação global e o índice de claridade. Na vertical, variação LW para mesmos valores de Kt expressa o quantitativamente como os efeitos das nuvens e vapor d'água na atmosfera influenciam nos valores de LW.

Na figura (b) é mostrada a correlação média \overline{LW} em função de intervalos centesimais de Kt.

$$\overline{LW} = 1,40 - 0,252Kt \quad (2)$$

A equação (2) obtida entre a radiação média de \overline{LW} e índice de claridade Kt centesimal por meio de regressão linear, com coeficiente de determinação próximo de 1 ($R^2 = 0,9707$), mostra que \overline{LW} e Kt estão muito bem correlacionadas. Como o termo Kt é menor que 1, o produto de $-b.Kt$ representa em todo intervalo de Kt uma quantidade muito inferior ao fator de intercepto a na equação (2). O fator de intercepto a na equação representa o valor máximo da radiação \overline{LW} e é a contribuição da atmosfera do período noturno, enquanto que termo b expressa a taxa de

decréscimo da \overline{LW} em função da variação cobertura de céu desde nebuloso e úmido (Kt tendendo a zero), até atmosfera sem nuvens e seco (Kt tendendo a 1).

Como a atmosfera diurna e noturna pode variar consideravelmente devido das variações da radiação de ondas curtas e do clima local, em termos da nebulosidade, temperatura e umidade, foi necessário uma análise sazonal das radiações devido às variações da radiação de ondas curtas e do clima local, \overline{LW} e SW. O agrupamento dos dados total foi dividido em 4 grupos separados por estação do ano em verão, outono, primavera e inverno, e as equações lineares (3) a (6) foram obtidas entre a radiação média \overline{LW} e índice de claridade Kt centesimal (Figura 3). As equações e seus respectivos coeficientes de determinação estão na tabela 1.

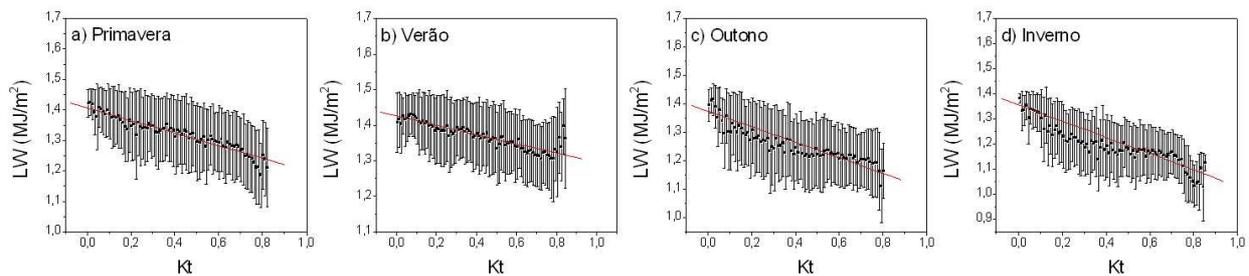


Figura 3. Correlação dos valores horários médios de \overline{LW} em função do índice de claridade horário centesimal Kt nas quatro estação do ano .

As retas da figura 3 mostram que valor máximo de \overline{LW} representado pelo fator de intercepto **a** nas equações é maior na seqüência das estações verão, primavera, outono e inverno. O valor máximo de \overline{LW} da equação linear total é inferior aos valores máximos de \overline{LW} das equações lineares da primavera e verão, e superior aos das equações do outono e inverno.

As retas da figura 3 mostram que valor máximo de \overline{LW} , representado pelo fator de intercepto **a** nas equações, é maior na seqüência das estações verão, primavera, outono e inverno.

O valor máximo de \overline{LW} da equação linear total é inferior aos valor máximo de \overline{LW} das equações lineares da primavera e verão, e superior aos das equações do outono e inverno. Os resultados indicam que a estimativa \overline{LW} pela equação geral (2) tende a subestimar a radiação \overline{LW} nas estações da primavera e verão, e superestimar no outono e no inverno.

Tabela 1. Equações de Estimativa Sazonais para LW em função de Kt

Estação do Ano	Equações de Estimativa	R ²
(3) Verão	$LW = 1,425 - 0,300Kt$	0,8244
(4) Outono	$LW = 1,374 - 0,272Kt$	0,8705
(5) Inverno	$LW = 1,360 - 0,324Kt$	0,9029
(6) Primavera	$LW = 1,410 - 0,206Kt$	0,8935

A validação dos modelos total e sazonal se deu comparando as radiações médias horárias LW estimadas pelo modelo estatístico (curva de regressão polinomial total e sazonal), e a medida LW do ano de 2006 por meio dos indicativos estatísticos MBE e RMSE, como mostradas na figura 4. Para o modelo total, os valores obtidos para MBE e RMSE foram de 2,5% e 9,9%, respectivamente. O resultado de 2,5% para o MBE foi considerado positivo estatisticamente, pois o modelo superestimou a medida da radiação LW com erro da ordem de grandeza da imprecisão

do equipamento de medida de LW. O valor de aproximadamente de 10,0% para o espalhamento da média, corrobora com os resultados obtidos para os desvios da média da equação geral.

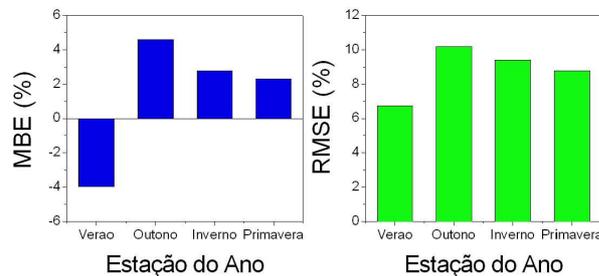


Figura 4. Indicativos estatísticos de validação do modelo estatístico sazonal.

Na validação sazonal, os indicadores MBE e RMSE variaram a cada estação do ano. Os valores de MBE variaram de -4.0% no verão subestimando a medida até 4.6% superestimando a medida de LW no outono. No inverno e na primavera, o modelo superestimou a medida com percentuais de 2.8% e 2.3%, respectivamente. Os valores de RMSE variaram de 6.7% no verão até 10.2% no outono. No inverno e na primavera, os valores de RMSE foram de 8.8% e 9.4%, respectivamente.

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

4. CONCLUSÕES: A evolução temporal das duas radiações LW e SW mostrou que a radiação de onda longa depende da radiação global. A correlação entre estas variáveis apresentou elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0.9707$). O fator de intercepto da equação (reta) é o valor máximo da radiação de LW e representa a contribuição da atmosfera do período noturno, enquanto que o termo b expressa a taxa de decréscimo da LW em função da variação da cobertura de céu desde nebuloso e úmido ($K_t < 0.35$) até sem nuvens e seca ($K_t > 0.65$). A validação mostrou que ocorre subestimativa da LW no verão e primavera e superestimativa no outono e no inverno, para qualquer valor de K_t .

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- BRUNT, D. Notes on radiation in the atmosphere. *Q. J. R. Meteorol. Soc* **58**, p. 389-420, 1932.
- ERBS, D.G., KLEIN, S.A., DUFFIE, J.A. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. *Sol. Energy*, v.28, p.293-302, 1982.
- NIEMELÄ, S., RÄISÄNEN, P., SAVIJÄRVI, H. Comparison of surface radiative flux parameterization part I: longwave radiation, *Atmos. Res.* v. 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.* v. 122, p. 1127-1151, 1996.
- SWINBANK, W.C. long-wave radiation from clear skies. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **110**, 1973.