

EVOLUÇÃO DIRNA E ANUAL DA RADIAÇÃO DE ONDAS LONGAS (ROL). Carlos Roberto Furlan Júnior, Eduardo Nardini Gomes, João Francisco Escobedo. – Agronomia – Departamento Recursos Naturais – Faculdade de Ciências Agronômicas – Campus de Botucatu.

1-Introdução:

As determinações dos níveis de energia, a identificação da variabilidade temporal e a modelagem do ROL são importantes para os estudos na área da climatologia, para o balanço de energia de superfícies expostas e para a quantificação de perda de energia térmica em coletor e concentrador solar.

No Brasil, a pesquisa da radiação solar e atmosférica é incipiente. São poucas as estações meteorológicas que medem radiação solar e em menor número são aquelas que medem onda longa. O Laboratório de Radiação Solar, no Campus da UNESP em Botucatu, SP, realiza medidas de rotina da componente atmosférica da radiação que chega ao solo através de um pirgeômetro, desde dezembro de 1999. Sendo a base de dados do ROL é composta de 3 anos de medida, o presente trabalho teve os seguintes objetivos: Calcular as irradiações horária e diária do ROL e estudar suas evoluções diária e anual.

2- Metodologia:

A base de dados para este trabalho foi gerada na Estação Radiométrica (Campus do Lageado, Universidade Estadual Paulista/UNESP) em Botucatu, estado de São Paulo (22°51'S; 48°27'W e 786 metros) no período entre 19 de dezembro de 1999 e 28 de fevereiro de 2003. A Estação Radiométrica pode ser considerada como estando inserida em ambiente rural. O centro da cidade de Botucatu está à cerca de 5 km da Estação.

A medida da irradiância atmosférica foi realizada através de um pirgeômetro, modelo CG1 da Kipp & Zonen, na altura de 2 metros, a partir da superfície do solo gramado. A sensibilidade espectral do aparelho encontra-se na faixa de comprimento de onda de 5 a 50 μm , e o fator de calibração é de 10,75 $\mu\text{V W}^{-1} \text{m}^2$. A acurácia de medida estimada pelo fabricante é de 10%. O detector térmico é protegido por uma janela de silício que é internamente revestida por uma película. Esta película evita que a radiação solar chegue ao detector térmico. Devido ao aquecimento da janela de silício, provocado pela radiação solar, a temperatura da janela torna-se superior à temperatura da termopilha. Isto gera um sinal espúrio que deve ser eliminado. Segundo o fabricante, 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 deve ser:

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

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.

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 Discussão:

A Figura 1 mostra a evolução diária do ROL através da irradiação média horária anual [H_{OL}^h] calculada pela Expressão 2:

$$\langle H_m^y \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N H_{m,n}^y \quad \dots\dots\dots (2)$$

Assim, este perfil representa um dia médio no que diz respeito, p. ex., aos instantes em que ocorrem as irradiações mínimas e máximas. O perfil mostra que a irradiação cresce e decresce em 24 horas.

O crescimento que ocorre das 8 às 16 horas se dá porque o ar atmosférico, as nuvens e o solo recebem radiação de ondas curtas, o que traz um conseqüente aumento de temperatura a estes componentes atmosféricos. Ao nível do solo aumenta a evaporação, ampliando a quantidade de vapor d'água atmosférico, inicialmente em camadas mais próximas do solo. Estas camadas de ar mais baixas são aquecidas pela superfície terrestre tanto por radiação quanto por condução. A energia destas camadas se distribui para níveis mais elevados por mecanismos como convecção e mistura turbulenta. A conseqüência deste aquecimento e umidificação generalizados é o aumento da radiância do ROL.

No declínio verificado entre 16 e 24 horas, apesar da radiação solar estar presente em parte dele, a irradiação diminui, porque a taxa com que a atmosfera recebe energia de radiação de ondas curtas e de ondas longas do solo terrestre, é menor que a taxa com que a atmosfera perde energia térmica. A explicação para este quadro é o decréscimo da elevação solar, que proporciona atenuação da disponibilidade de radiação de ondas curtas.

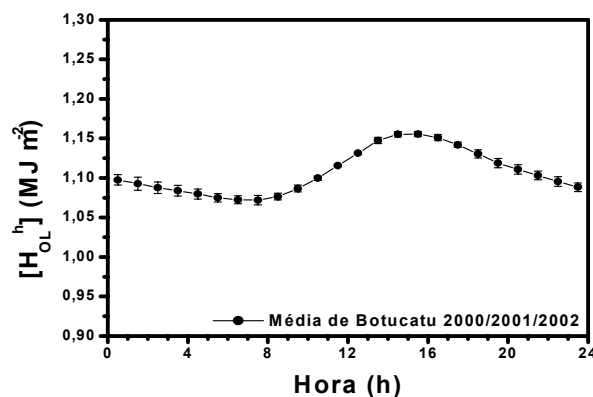
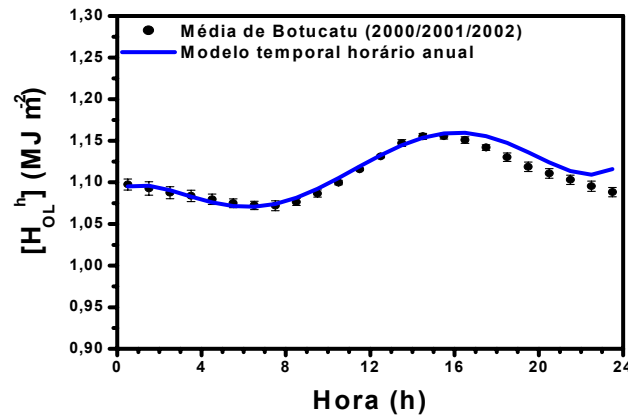


Figura 1: Energia média horária anual para Botucatu, SP. As barras de erros são os desvios padrões das médias calculadas pela Expressão 2.

Entre 1 e 8 horas a atmosfera perde energia por radiação, e na superfície em contato com o solo a energia deixa a atmosfera também por condução. Neste período do dia o declínio da irradiação ocorre mesmo após a aurora solar porque a termalização da atmosfera não é instantânea.

Nota-se que as barras de erros são maiores no período noturno. Isto se dá porque o contraste térmico entre as nuvens e o céu relativamente mais frio é mais acentuado neste período do dia do que no período diurno (KASTEN & CZEPLAK, 1980).

São Paulo pode ser classificada como uma ilha de calor, porque no centro da cidade a absorção de energia proveniente da radiação solar é maior do que nas áreas rurais vizinhas. Esta absorção diferenciada se dá devido à presença de materiais como asfalto, parede de tijolos e concreto, telhas de amianto e outros. Segundo Threlkeld(1970), materiais escuros e não metálicos, como o asfalto, podem absorver até 98% da radiação solar incidente. Threlkeld(1970) informa, ainda, que estes mesmos materiais, para temperatura acima de 30° C, podem emitir até 98% (em relação ao corpo negro à mesma temperatura) de energia em ondas longas. Nota-se também a ausência de vários fatores que poderiam



contribuir para a minimização do calor, como por exemplo: áreas verdes de extensões compensadoras; circulação do ar, impedida pelos prédios.

Figura 2: Média horária anual para Botucatu, SP e o modelo temporal da irradiação horária anual. As barras de erros são os desvios padrões das médias calculadas pela Expressão 2.

Uma possibilidade para se analisar analiticamente a variabilidade diária da irradiação ROL é dada pela Expressão 3,

$$[H_{OL}^h] = B_0 + \sum_{i=1}^5 B_i t^i \quad (t = 0,5; 1,5; 2,5; \dots, 23,5) \dots \dots \dots (3)$$

Onde $B_0 = 1,09107$; $B_1 = 0,01176$; $B_2 = -0,00712$; $B_3 = 0,00107$; $B_4 = -5,67136E-5$; $B_5 = 9,89353E-7$. O coeficiente de determinação foi de 0,978. O parâmetro t é a hora do dia. A Expressão 3, denominada modelo temporal da irradiação horária anual, está representada na Figura 2. A Expressão 3 é capaz de dar o valor total de energia, $\int [H_{OL}^h] dt$, no período de 24 horas, com um erro relativo de +0,5% do valor da área sob a curva formada pelos pontos experimentais que geraram o modelo. Por outro lado, desde que $t_{(0,0005;23)} = 3,77$, conclui-se que o perfil da Figura 2 pode ser representado pelo polinômio dado pela Expressão 3, ao nível da significância de 0,1%, uma vez que $|t| = 3,54 (p < 0,001)$. A estatística t foi calculada pela comparação pareada das duas amostras, a saber, medidas e valores estimados pela Expressão 3.

A Figura 3 mostra as médias mensais dos totais diários para Botucatu. O mês de março se caracteriza como um mês que, quando comparado com dezembro, janeiro e fevereiro, apresenta insolação elevada. Este fato favorece a reflexão de radiação solar entre nuvens e entre nuvens e o solo. Estas reflexões ampliam o aquecimento da atmosfera por absorção de ondas curtas. O solo, recebendo mais radiação de ondas curtas emite, conseqüentemente, mais radiação de ondas longas, disponibilizando ainda mais energia para ser absorvida pela atmosfera. A conjugação destes dois fatores justifica o nível médio de onda longa, observado no mês de março. Por outro lado, se considerarmos os erros das médias de março e dezembro, os níveis do ROL para estes dois meses podem ser considerados iguais.

O teste t pareado, para os dois conjuntos de dados, $|t| = 5,35 (p < 0,05)$, mostra que, ao nível de 95% de confiança, os níveis de radiação do ROL de Botucatu e São Paulo, também são estatisticamente distintos nesta partição, uma vez que para $\alpha = 5\%$ e $N = 12$, $t_{(\alpha/2; N-1)} = 2,20$. Logo, $|t| > t_{(\alpha/2; N-1)}$ e a hipótese nula de que os dois conjuntos de dados sejam idênticos deve ser rejeitada

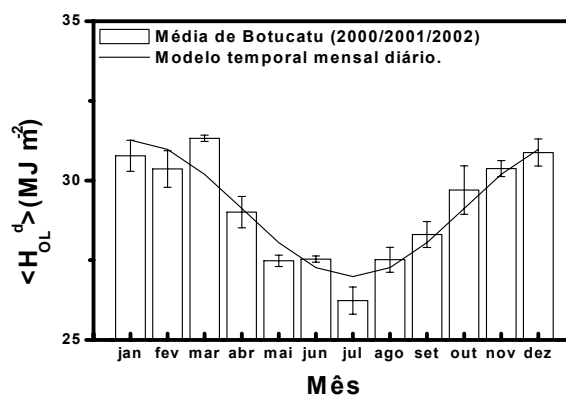


Figura 3: Média mensal diária de Botucatu, SP e o modelo temporal mensal diário. As barras de erros são os desvios padrões das médias calculadas pela Expressão 2.

A variabilidade anual da média mensal diária pode ser estudada analiticamente, pelo modelo temporal mensal diário dado por:

$$\langle H_{OL}^d \rangle = 29,1253 + 2,1423 \cos \left[\frac{2\pi(m-1)}{12} \right] \dots\dots\dots(4)$$

Ajustado aos valores da Figura 7, sendo m (m = 1,2,3,...,12) o mês. O coeficiente de correlação foi de 0,94. A Equação 4 é capaz de fornecer a energia anual acumulada com um erro da ordem de 0,01%, em relação à curva experimental. A Figura 3 mostra o modelo juntamente com os dados experimentais que o gerou.

4- Conclusão:

A elevação solar é fator determinante na variabilidade diária do ROL. Desde o amanhecer até o sol atingir o menor ângulo zenital, o ROL cresce. E a partir deste momento O ROL declina até atingir o mínimo no início do dia seguinte. A irradiação horária mínima ocorre em julho e a máxima em dezembro, apresentando um diferencial energético de 28%. O período de tempo entre a ocorrência da mínima e da máxima, para um período de 24 horas, é de 6 horas para junho e de 9 horas para dezembro, refletindo a variação anual do fotoperíodo. A amplitude, a diferença entre o nível Máximo e mínimo da irradiação horária para um período de 24 horas, é menor no inverno e maior no verão. A menor ocorre em junho e a maior em dezembro.

5- Referências Bibliográficas:

THRELKELD, J.L. **Thermal environmental engineering**. 2.ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall International, Inc. 1970, p. 24.

UDO, S.O. On the relationship between downward infrared sky radiation and clearness index. **Global Journal of Pure and Applied Science**. v. 5, n. 3, p. 427-430, 1999.

Bolsa: FAPESP