

ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR A PARTIR DA INSOLAÇÃO, NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA, CE.

José Vanglesio de AGUIAR⁽¹⁾, Samuel Maia NOGUEIRA⁽²⁾, Eduardo César Barreto de ARAÚJO⁽³⁾, Raimundo Rocha CRISÓSTOMO JR.⁽⁴⁾ e Júlio César Souza CAVALCANTE⁽⁵⁾

RESUMO

Usando-se dados básicos de radiação solar global e insolação diária de Fortaleza, Ceará relativos ao período de 1976 a 1991, analisou-se a relação existente entre esses parâmetros meteorológicos, visando a estimativa da radiação solar, a partir dos dados de insolação para a região metropolitana de Fortaleza.

O modelo utilizado foi o de Angstrom, representado matematicamente pela equação:

$$Q_g = Q_o (a + b \cdot n/N) \quad (1)$$

Na equação (1), **Q_g** representa a radiação solar global, em cal/cm² . dia; **Q_o** a radiação solar em uma superfície solar horizontal no topo da atmosfera, em cal/cm² . dia; **n** a insolação diária observada no período, em horas e décimos; **N** a duração máxima da insolação diária, em horas e décimos; **a** e **b** as constantes de Angstrom.

Foram obtidas regressões lineares mensais de **Q_g/Q_o** e **n/N** com coeficientes de correlação variando de 0,62 a 0,90. Considerando-se que os desvios padrões de **a** e **b** foram 0,020 e 0,023, e os coeficientes de variação 7,73% e 7,42%, respectivamente, concluiu-se que para o ano como um todo, pode-se estimar a radiação solar global a partir dos dados de insolação, pela equação:

$$Q_g = Q_o (0,2608 + 0,3092 \cdot n/N) \quad (2)$$

INTRODUÇÃO

O conhecimento da radiação solar global se reveste de grande importância para a atividade do homem, visto que o sol é a principal fonte de energia dos processos físicos, químicos e biológicos que acontecem na natureza.

Considerando que as plantas constituem seres com capacidade de transformar a energia solar em alimentos através do processo da fotossíntese, a energia solar é um parâmetro bastante importante para a produção agrícola.

⁽¹⁾Doutor, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Campus do Pici, Bloco 804, Fortaleza, CE, CEP 60455-700, E-mail: jvaguilar@ufc.br. Fone (085)288-.9758, Fax (085) 288-9756.

⁽²⁾ Estudante do Curso de Graduação em Agronomia, Bolsista de Iniciação Científica da UFC.

⁽³⁾ Eng. Agrônomo, Estudante do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, da UFC

⁽⁴⁾ Eng. Agrônomo, Técnico em Meteorologia do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC.

⁽⁵⁾ Aluno do Curso de Graduação de Agronomia e Bolsista da EMBRAPA.

Além de viabilizar o processo fotossintético, a radiação solar também influi na evaporação da água do solo e na transpiração das plantas, afetando em última análise o balanço hídrico do solo, o qual define a quantidade de água a disposição das plantas.

Apesar do seu destaque no ciclo biológico da natureza, a medida da radiação solar ainda ocorre de maneira precária, a não ser nas estações agrícolas experimentais e nas universidades, devido ao custo elevado da instrumentação necessária, bem como a necessidade de treinamento de pessoal. Entretanto, recentemente tem havido uma evolução tecnológica direcionadas à estações meteorológicas automatizadas, devendo em um futuro próximo, possibilitar a construção de sensores a custos mais baixos.

Por outro lado, a medida da insolação vem sendo realizada em um número muito grande de localidades, através de heliógrafos, aparelhos de custo mais baixo e de fácil manejo.

Muitos pesquisadores tem estudado a relação entre a radiação global e o número de horas de insolação.

ANGSTROM (1924), sugeriu uma relação linear entre a relação da radiação solar e a radiação no topo da atmosfera e a relação entre a insolação diária na superfície terrestre e a insolação máxima em um dia completamente claro, sem nebulosidade, conforme a equação 1.

$$Q_g/Q_o = a + b \cdot n/N \quad (1)$$

sendo: Q_g a radiação global;

Q_o a radiação no topo da atmosfera;

n o número de horas de sol observados em um dia;

N o número máximo de horas de sol em um dia;

a e b as constantes de Angstrom.

O cálculo da evapotranspiração potencial pelo método de Penman envolve um termo energético e um termo aerodinâmico; o termo energético é calculado pela Eq. (1).

Alguns modelos empíricos tem sido sugeridos para localidades onde ainda não foram determinadas as constantes **a** e **b**.

GLOVER & McCULLOCH (1958), apresentou para locais onde a latitude é menor que 60° a seguinte relação

$$Q_g/Q_o = 0,29 \cos \Phi + 0,52 \cdot n/N \quad (2)$$

sendo Φ a latitude do lugar

O presente trabalho teve como objetivo determinar as constantes de Angstrom para a região metropolitana de Fortaleza e adequar a equação de Penman às condições locais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de radiação solar (Q_g) e de insolação (n), foram obtidos na Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, localizada no Campus do Pici, na cidade de Fortaleza, a $3^\circ 45'$ de latitude sul e $33^\circ 38'$ de longitude oeste e 20 m de altitude.

Nas medidas de radiação solar e insolação foram utilizados um actinógrafo do tipo Robitzsch, rotação semanal, e um heliógrafo de Campbell-Stokes, abrangendo um período de 20 anos (1976-1991). Os dados de radiação solar foram obtidos em $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{dia}$ e os dados de insolação diárias, em horas e décimos. Vale salientar que foram descartados alguns pares de dados, devido a ausência de dados, ora de radiação solar, ora de insolação diária.

Para os dados de radiação solar no topo da atmosfera (Q_0) e insolação máxima diária, foram tomados os valores correspondentes ao 15º dia do mês, publicados por TUBELIS (1980).

Foram coletados dados diários de radiação solar e de insolação, e a partir desses pares de dados, foram realizadas análises de regressão linear da forma $Q_g = f(Q_0)$, obtendo-se as constantes **a** e **b**, na forma da Eq. 1, e calculados os coeficientes de correlação (**r**) correspondentes a cada mês.

Uma vez determinado o modelo, utilizou-se dados de radiação solar e insolação do período de janeiro de 1996 a 1998, totalizando 946 pares de dados para a avaliação do modelo; para tanto, comparou-se os valores da radiação global registrados na Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza, com os valores estimados pelo modelo, ano a ano e no período, através da estatística clássica, compreendendo o cálculo dos desvio médio (**dme**), desvio padrão (**σ**), coeficiente de correlação (**r**), assimetria (**Cs**), curtose (**Cr**) e do teste “t” de Studente (**t**).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As constantes de Angstrom obtidas das análises de regressão linear são apresentadas no QUADRO 1.

SILVA (1990), encontrou para o município de Pentecoste, valores de **a = 0,32** e **b = 0,34**. O maior valor encontrado para **a** em relação a Fortaleza, mostra que para um dia completamente nublado a transmissividade da atmosfera na região de sertão é maior que na região do litoral, provavelmente devido aos maiores índices de umidade desta última, principalmente, nos meses sem chuva, face a proximidade do mar.

BLACK et al. (1953) obtiveram valores próximos aos encontrados neste trabalho para as localidades de Batavia e Tjibodats em Java, **a = 0,29** e **b = 0,29**, com latitudes mais próximas da latitude de Fortaleza ($6,3^\circ$ S).

QUADRO 1 - Valores das constantes de Angstrom e do coeficiente de correlação obtidos a partir da regressão linear entre Q_g/Q_o e n/N .

MÊS	a	B	r
JANEIRO	0,2745	0,2670	0,85
FEVEREIRO	0,2412	0,3214	0,89
MARÇO	0,2326	0,3482	0,86
ABRIL	0,2634	0,3108	0,84
MAIO	0,2915	0,2653	0,82
JUNHO	0,2736	0,3080	0,88
JULHO	0,2678	0,3216	0,83
AGOSTO	0,2603	0,3274	0,73
SETEMBRO	0,2851	0,2932	0,62
OUTUBRO	0,3280	0,3132	0,56
NOVEMBRO	0,2351	0,3125	0,90
DEZEMBRO	0,2440	0,3108	0,86

TUBELIS et al. (1976), trabalhando com dados relativos ao período de 1971 a 1974, calcularam para a cidade de Botucatu-SP, (Lat.22°52'S) valores de **a** variando de 0,211 a 0,322 e valores de **b** variando de 0,331 a 0,508. A divergência dos valores de **a** e **b**, além dos índices de transmissividade da atmosfera, são influenciados pelas diferenças de latitude.

Os resultados do coeficiente linear encontrados neste trabalho, estiveram próximos ao modelo de GLOVER & McCULLOH (1985) conforme Eq. (2).

Pelos dados do QUADRO 1, calcula-se que a média dos valores de **a** e **b** são 0,2608 e 0,3092, respectivamente e que os desvios padrão são 0,020 e 0,023, respectivamente. Embora os coeficientes de correlação dos meses de setembro e outubro tenham se situado abaixo de 70%, os demais foram sempre além de 80% e os coeficientes de variação estiveram abaixo de 10% (0,0773 e 0,0742, respectivamente); portanto, os valores médios podem ser considerados para o ano como um todo, sem que isso venha provocar erros que inviabilizem a regressão.

Os valores de radiação global estimados e observados estão comparados nas Figuras 1, 2 e 3 e a análise estatística está resumida no Quadro 2.

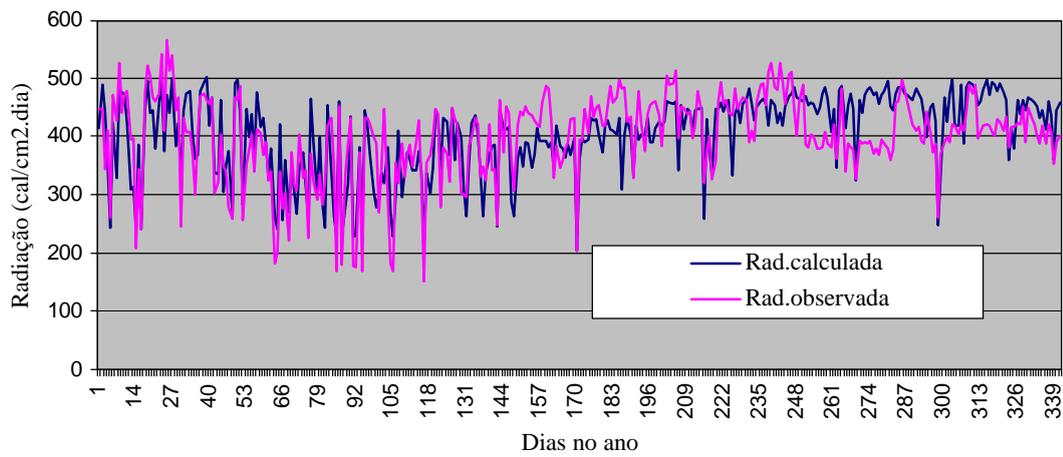


Figura 1. Radiação Global Observada e Calculada pelo Modelo - Fortaleza, 1996

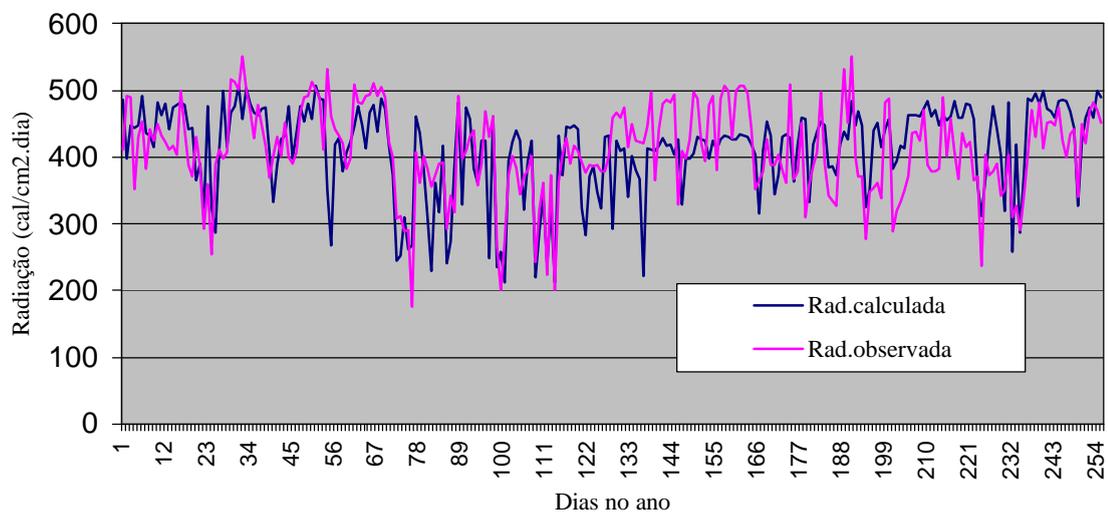


Figura 2. Radiação Global Observada e Calculada pelo Modelo - Fortaleza, 1997

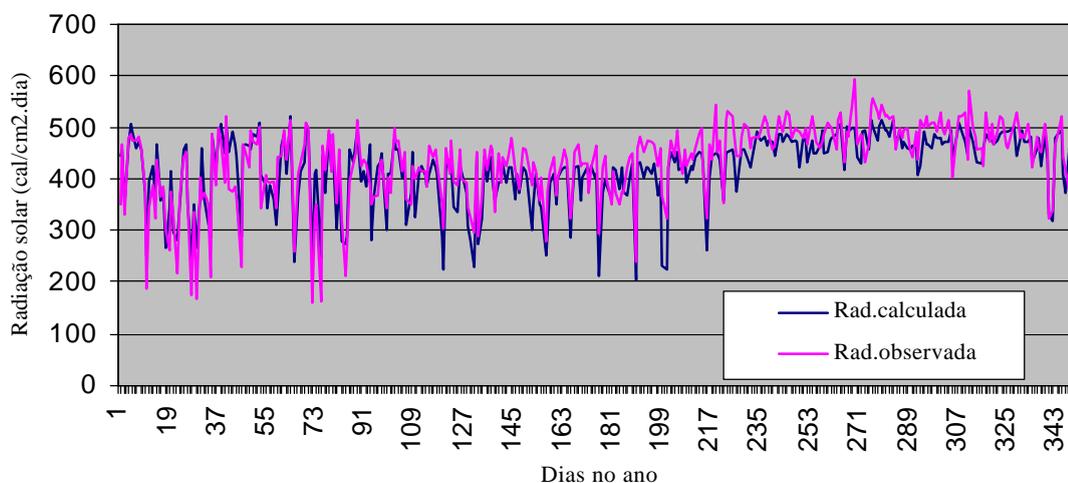


Figura 3. Radiação Global Observada e Calculada pelo Modelo. Fortaleza, 1998

QUADRO 2 – Resumo dos parâmetros de avaliação estatística do modelo ajustado – Fortaleza-Ce.

Parâmetros	1996	1997	1998	1996-1998
Qg est	403,96	412,13	420,93	412,46
Qg obs	399,26	410,00	435,90	415,60
Desvio padrão	52,90	59,76	40,83	47,30
Coef. Correlação	0,7276	0,5991	0,8569	0,7433
Coef. Assimetria	-0,18	-0,47	0,59	-0,03
Coef. Curtose	-0,59	-0,36	0,89	0,10
Teste “t”	0,3914	0,7193	0,0051	0,3344
Coef. Variação	0,1127	0,1454	0,0953	0,1142

As Figuras 1, 2 e 3 demonstram uma excelente aproximação dos valores de radiação global estimados e observados para os três anos estudados; a maior amplitude observada para os maiores valores estimados e observados foi de 71,5 cal/cm2.dia e para os menores valores, 53,0 cal/cm2.dia. Considerando que os desvios padrões para os três anos estudados situaram-se abaixo desses valores, é razoável aceitar que esses maiores desvios não ocorreram com frequência capaz de rejeitar-se o modelo. Observa-se que os desvios absolutos entre as médias da radiação estimada e observada são menores que 5 (cinco), exceto o ano de 1998.

Os coeficientes de correlação se mostraram significativos ao nível de $\alpha = 0,05$ para todos os anos; (SPENCE et alii, 1968)

Os coeficientes de assimetria tiveram valores próximos de zero, podendo-se assumir que os desvios observados entre os valores estimados e observados tem distribuição simétrica; os coeficientes de curtose evidenciam uma distribuição bastante plana em relação ao seu cume.

A hipótese testada é que $H:\mu_E - \mu_O = 0$, sendo μ_E a média da radiação estimada e μ_O a média da radiação observada. O nível de significância adotado foi de $\alpha = 0,01$ e a estatística usada para testar a hipótese foi o teste “t”. Assim, há 1% de chance de rejeitar-se a hipótese se ela for verdadeira. Os valores de “t” calculados, não excedem o valor tabulado (2,58) para o nível de significância adotado; portanto, a hipótese $H:\mu_E - \mu_O = 0$ foi aceita, concluindo-se que o modelo ajustado pode ser utilizado para estimar a radiação global na região metropolitana de Fortaleza, a partir dos dados de insolação diários observados.

4.CONCLUSÕES

- a) A radiação global pode ser estimada a partir da insolação diária, através de equações lineares, conforme o modelo proposto por ANGSTROM (1924).
- b) Os parâmetros das equações ajustadas, variaram de mês para mês, alcançando valores mínimos de 0,2240 e 0,2653 e valores máximos de 0,2915 e 0,3482, para **a** e **b**, respectivamente;
- c) Para o ano como um todo, pode ser utilizado um valor médio de **a = 0,2608** e **b = 0,3092**, respectivamente.
- d) Não se verificou diferença estatisticamente significativa entre os valores de radiação observados com o actinógrafo de Robitzsch e os valores estimados pelo modelo ajustado.

5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGSTROM, A . Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society** , Bracknell, v. 50:121-125, 1924.
- BLACK, J. N. , BONYTHON, C. W., PRESCOTT, J. A . Solar radiation and the duration of sunshine. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Bracknell, v. 80:231-235, 1954.
- GLOVER, J. , McCULLOH, S. G. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Bracknell, v. 84, p.172-5, 1958.
- SILVA, Z. R. ,CARVALHO, A . J. P. , ALBUQUERQUE, I. M. Relação entre radiação solar e insolação na região de Pentecoste, Ceará. **Ciên . Agron.** Fortaleza, v.21(1/2) : 75-78, 1990.
- SPENCE, J. T.; COTTON, J. W.; UNDER WOOD, B. J.; & DUNCAM, C. P. **Elementary Statistics**. New Jersey: **Prentice-Hall**, New Jersey, 1968, 282p
- TUBELIS, A . , NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva-fundamentos e aplicações brasileiras**. Livraria Nobel S.A, São Paulo, 1980, 574p.