

# ESTUDO DA RADIAÇÃO SOLAR NA REGIÃO DO DISTRITO FEDERAL

Fernando A. Macena da SILVA<sup>1</sup>, Eduardo Delgado ASSAD<sup>2</sup>, Antônio Carlos GOMES<sup>3</sup>, Balbino Antônio EVANGELISTA<sup>4</sup>

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estimar os coeficientes da equação de Angström para a região do Distrito Federal. Utilizou-se 6 anos de dados diários de densidade de fluxo de radiação solar global e de insolação da estação meteorológica BsB-Cruzeiro-INMET. Estes dados foram ajustados a um modelo matemático da forma  $y = a + bx$  e em seguida procedeu-se à análise estatística de regressão linear para obtenção das estimativas dos coeficientes  $a$  e  $b$  pelo método dos mínimos quadrados. A partir deste estudo verificou-se que é possível estimar mensalmente, para a região do Distrito Federal, a radiação solar global em função dos dados de insolação disponíveis.

## INTRODUÇÃO

A melhor forma de quantificar a irradiância global diária sobre uma superfície horizontal ao nível do solo é por meio de piranômetros. Geralmente, as estações não dispõem desse aparelho, sendo muitas vezes necessário recorrer a formulações empíricas que permitam estimá-la em função de outros parâmetros meteorológicos.

Uma das fórmulas empíricas mais conhecidas é o modelo Angström de que tem sido muito utilizado em todo mundo na tentativa de estimar os fluxos de radiação solar global com base nas observações de horas de brilho solar.

Angström (1924) apresentou o seu modelo como sendo:  $R_g = R_0(a + b \frac{n}{N})$ , onde  $R_g$  é a irradiância solar global diária sobre uma superfície horizontal, ao nível do solo ( $cal.cm^{-2}$ ),  $R_0$  é a irradiância solar global diária no topo da atmosfera ( $cal.cm^{-2}$ ),  $a$  e  $b$  são os coeficientes empíricos, obtidos por análise de regressão linear para uma determinada localidade,  $n$  é a duração do brilho solar observado (horas) e  $N$  é a duração máxima possível do brilho solar, ou duração do dia (horas).

São muitas as regiões do Brasil que já dispõem dos valores de  $a$  e  $b$ , onde pode-se citar os trabalhos de Ometo (1968); Mota (1976); Vianello e Alves (1991), por outro lado, é grande também o número de localidades que ainda precisam deste tipo de estudo.

O principal objetivo deste trabalho foi estimar os coeficientes mensais da equação de Angström que relaciona a radiação solar global e a insolação para a região do Distrito Federal.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados 6 anos de dados diários de irradiância solar global ao nível do solo, irradiância solar global no topo da atmosfera, duração do brilho solar observado e duração máxima possível do brilho solar da estação código 83377, localizada na cidade de Brasília segundo as coordenadas  $15^{\circ}47'$  de latitude sul e  $47^{\circ}56'$  de longitude oeste. Esses dados foram armazenados, gerenciados e cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Estabeleceu-se um modelo matemático da forma:  $y = a + bx$ ,

para se fazer a correspondência com o modelo  $R_g = R_0(a + b \frac{n}{N})$ , onde:  $y = \frac{R_g}{R_0}$  e  $x = \frac{n}{N}$ . Como os valores de  $y$  e  $x$  são conhecidos procedeu-se à análise de regressão linear para estimar os coeficientes  $a$

<sup>1</sup> Eng. Agr. M.Sc., EMBRAPA/ CPAC, Caixa Postal 08223, CEP 73301-970, Planaltina, DF.

<sup>2</sup> Eng. Agric., Dr. EMBRAPA/ CPAC

<sup>3</sup> Bioestatístico, Dr. EMBRAPA/ CPAC

<sup>4</sup> Geógrafo, Bs. EMBRAPA/ CPAC

e  $b$  pelo método dos mínimos quadrados. Todas as análises foram realizadas através de programas SAS elaborados para este fim.

Os valores da irradiância solar global diária ( $R_G$ ) e da duração do brilho solar observado ( $n$ ) foram provenientes de medições feitas na referida estação meteorológica utilizando o actinógrafo (bimetálico-Fuess) e o heliógrafo (Fuess), respectivamente. A radiação solar global incidente numa superfície horizontal paralela à superfície do solo no topo da atmosfera ( $R_0$ ) foi calculada pela seguinte expressão:

$$R_0 = \frac{1440}{\pi} S \left( \frac{\bar{d}}{d} \right)^2 H \sin\theta \sin\delta + \cos\theta \cos\delta \sin H \quad ; \text{ onde: } S \text{ é a constante solar } (2cal.cm^{-2}.min^{-1}), \bar{d} \text{ é}$$

a distância média do sol à terra ( $150 \cdot 10^6 km$ ).  $d$  é a distância média do sol à terra na época considerada (Anuário Astronômico).  $\theta$  é a latitude do lugar.  $\delta$  é a declinação solar (Anuário Astronômico).  $N$  é a duração astronômica do dia (horas), adquirido pela seguinte equação:  $N = \frac{2 \cdot H}{15}$ , sendo que  $H$  é o ângulo horário, calculado pela fórmula:  $H = ar \cos(-tg(\theta)tg(\delta))$ .

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos coeficientes estimados  $\bar{a}$  e  $\bar{b}$ , dos coeficientes de determinação ( $R^2$  ajustado), os valores do teste "F", bem como as equações do modelo de Angström para os meses do ano são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** Valores de  $\bar{a}$  e  $\bar{b}$ ,  $R^2$ , do Teste F e as equações mensais de Angström para a região do Distrito Federal.

Mês	Valor de $\bar{a}$	Valor de $\bar{b}$	Coefficiente de determinação $R^2$ ajustado	Valor de F	Equação de Angström
Janeiro	0,29	0,43	0,90	1647,25**	$R_g = R_0 \left( 0,29 + 0,43 \frac{n}{N} \right)$
Fevereiro	0,28	0,45	0,83	784,69**	$R_g = R_0 \left( 0,28 + 0,45 \frac{n}{N} \right)$
Março	0,27	0,48	0,87	1213,77**	$R_g = R_0 \left( 0,27 + 0,48 \frac{n}{N} \right)$
Abril	0,30	0,40	0,74	394,15**	$R_g = R_0 \left( 0,30 + 0,40 \frac{n}{N} \right)$
Mai	0,29	0,44	0,79	549,42**	$R_g = R_0 \left( 0,29 + 0,44 \frac{n}{N} \right)$
Junho	0,31	0,46	0,85	404,98**	$R_g = R_0 \left( 0,31 + 0,46 \frac{n}{N} \right)$
Julho	0,32	0,42	0,81	653,00**	$R_g = R_0 \left( 0,32 + 0,42 \frac{n}{N} \right)$
Agosto	0,29	0,46	0,91	1487,87**	$R_g = R_0 \left( 0,29 + 0,46 \frac{n}{N} \right)$
Setembro	0,25	0,52	0,95	2963,30**	$R_g = R_0 \left( 0,25 + 0,52 \frac{n}{N} \right)$
Outubro	0,23	0,50	0,89	1430,06**	$R_g = R_0 \left( 0,23 + 0,50 \frac{n}{N} \right)$
Novembro	0,24	0,49	0,87	1222,05**	$R_g = R_0 \left( 0,24 + 0,49 \frac{n}{N} \right)$
Dezembro	0,28	0,46	0,84	968,13**	$R_g = R_0 \left( 0,28 + 0,46 \frac{n}{N} \right)$

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 1 que os parâmetros estudados foram estimados a partir do modelo linear com bons ajustes. Os valores do  $R^2$  **ajustado** variaram de 74% a 95%, ficando apenas os meses de abril e maio com o valor desse coeficiente abaixo dos 80%, sendo que os demais foram superiores a este valor. A coluna dos valores do **Teste F** indica que o modelo linear proposto foi significativo ao nível de 1% de probabilidade, criando, com isso, a possibilidade de se estimar para a região do Distrito Federal, a densidade de fluxo de radiação solar global para cada mês do ano a partir dos dados de insolação.

Não foi feito nenhum estudo para indicar a extrapolação dos coeficientes *a* e *b*, estimados neste estudo, para outras regiões que não seja a do Distrito Federal. Isso só pode ser feito quando existir uma associação entre os coeficientes e outros fatores, tais como: latitude e altitude. Este fato ficou evidenciado nos trabalhos de Estefanel et al. (1990) e Fontana & Oliveira (1996), onde o coeficiente *b* aumentou com o aumento da altitude e diminuiu para latitudes mais elevadas, uma vez que a camada de ar que a radiação solar atravessa para atingir a superfície é menor em altas altitudes e baixas latitudes.

## CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu calcular, mensalmente, os coeficientes da Equação de Angström, sendo possível então, a partir de agora, prever a densidade do fluxo da radiação solar global para cada mês do ano na região do Distrito Federal, bem como estimar falhas de medidas e corrigir possíveis erros de séries climáticas existentes, a partir de dados disponíveis de insolação.

## BIBLIOGRAFIA

- ANGSTRÖM, A. Solar e terrestrial radiation. Quarterly Journal, Royal Meteorological Society, 50:121-26, 1924.
- ESTEFANEL, V., SCHENEIDER, F.M., BERLATO, M.A. Insolação e radiação solar global na região de Santa Maria, RS. I. Estimativa da radiação solar global incidente a partir de dados de insolação. **Rev. Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.20, n. 3-4, p. 203-218, 1990.
- FONTANA, D.C., OLIVEIRA, D. Relação entre radiação solar global e insolação para o estado do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Agrometeorol.** Santa Maria, v.4, n.1, p.87-91, 1996.
- MOTA, F.S. Meteorologia Agrícola. 2.a ed., São Paulo: Nobel 1976.
- OMETTO J.C. Estudo das relações entre: radiação solar global, radiação líquida, insolação. Piracicaba: ESALQ-USP, 1968 64p. Dissertação (Doutorado em agronomia).
- VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. Meteorologia Básica e Aplicações. Viçosa: UFV, 449p, 1991.