

## Estimativa da radiação solar global a partir dos dados de insolação, para Santa Maria – RS

Estimation of global radiation from insolation data for Santa Maria, RS, Brazil

Galileo Adeli Buriol<sup>I</sup> Valduino Estefanel<sup>II</sup> Arno Bernardo Heldwein<sup>III</sup> Solismar Damé Prestes<sup>IV</sup>  
João Francisco Carlexo Horn<sup>V</sup>

### RESUMO

Foram determinados os coeficientes  $a$  e  $b$  da equação de Angström-Prescott para a estimativa da radiação solar global para Santa Maria, RS. Utilizaram-se os dados diários da intensidade de fluxo de radiação solar global e de insolação (brilho solar) registrados na Estação Meteorológica pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia, localizada no Campus da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, período 2002-2008. Os dados foram copiados no banco de dados do 8º Distrito de Meteorologia – 8º DISME, em Porto Alegre, e calculados os valores diários de radiação solar global no topo da atmosfera e de insolação máxima possível, considerando a latitude local. Com esses dados, foram determinadas as equações mensais e estacionais de regressão para a estimativa da radiação solar global em função da insolação. Constatou-se que existe alta correlação entre os dados de radiação solar global com aqueles de insolação, sendo, assim, possível estimar a radiação solar global em função da insolação.

**Palavras-chave:** equação de Angström-Prescott, brilho solar, razão de radiação solar global, razão de insolação.

### ABSTRACT

Coefficients  $a$  and  $b$  of the Angström - Prescott equation to estimate global solar radiation for Santa Maria, RS were determined. Daily data of global solar radiation and sunshine, were obtained from the Meteorological Station which belongs to the 8<sup>th</sup> District of Meteorology, located on the campus of the Federal University of Santa Maria – UFSM, period from 2002 to 2008. The mentioned data were copied from the database of the 8<sup>th</sup> District of Meteorology – 8<sup>th</sup> DISME in Porto Alegre. Top of atmosphere radiation and possible

maximum sunshine were calculated considering local latitude. With such elements, monthly regression equations were determined for the estimation of solar radiation as a function of insolation. We found a high correlation between insolation and global solar radiation and it's possible to estimate the solar radiation depending on the measured insolation.

**Key words:** equation Angström-Prescott, sunshine, solar radiation ratio, insolation ratio.

### INTRODUÇÃO

Poucas estações meteorológicas possuem registros da densidade de fluxo de radiação solar global devido ao fato de que os aparelhos utilizados são de preço relativamente alto e de necessitarem de frequentes manutenções. Por existir uma relação entre a radiação solar e a insolação (brilho solar), que é diferente para cada local e para cada época do ano, foram desenvolvidos modelos estatísticos para sua estimativa a partir dos dados de insolação. O primeiro modelo de estimativa foi publicado por ANGSTRÖN (1924). PRESCOTT (1940) simplificou a equação de ANGSTRÖN (1924), de modo que, a partir dos coeficientes linear e angular da equação de regressão linear simples entre a razão de insolação e de radiação solar global, fosse possível estimar a radiação solar global, tendo como base os dados de insolação, sendo

<sup>I</sup>Centro Universitário Franciscano (UNIFRA), 97010-032, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: galileo@unifra.br.

<sup>II</sup>UNIFRA, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: vestefanel@gmail.com. Autor para correspondência.

<sup>III</sup>Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>IV</sup>Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Porto Alegre, RS, Brasil.

<sup>V</sup>Centro Universitário Franciscano (UNIFRA), Santa Maria, RS, Brasil.

o modelo denominado de Angström-PreScott (BLANCO & SENTELHAS, 2002; SANTOS et al., 2003; DANTAS et al., 2003). A partir daí, esse modelo de estimativa, com adaptações introduzidas em função das condições climáticas de cada local, vem sendo utilizado universalmente. Para a obtenção desse modelo, para um determinado local ou região, é necessário que se tenham registros de insolação e de radiação solar diários de um período coincidente e longo, se possível, acima de cinco anos. Com o modelo obtido, é possível estimar a radiação solar local de períodos em que só se possui dados de insolação.

Para a região de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul, RS, ESTEFANEL et al. (1990), utilizando os dados diários de densidade de fluxo de radiação solar global e de insolação registrados nas estações meteorológicas de Boca do Monte, Julio de Castilhos e São Gabriel, pertencentes à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO, respectivamente, dos períodos 1964-1986, 1976-1986 e 1965-1986, determinaram, para estes locais, os coeficientes  $a$  e  $b$  da equação da reta para estimar a radiação solar global a partir dos dados de insolação. Foram utilizados dois modelos de estimativa: regressão simples entre os valores insolação e da radiação solar global e o modelo de Angström-PreScott. O modelo de Angström-PreScott foi aquele que forneceu melhores resultados. Entretanto, para a estação meteorológica de Santa Maria, localizada na área do Departamento de Fitotecnia (Campus da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM), pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia - 8º DISME, do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, os coeficientes  $a$  e  $b$  não foram determinados, em função da constatação de inconsistência dos dados de radiação solar global nela registrados.

A inconsistência dos registros de radiação solar global da estação meteorológica de Santa Maria foi atribuída, principalmente, ao instrumento utilizado, actinógrafo tipo Rubitz, de funcionamento mecânico. Entretanto, a partir do ano de 2002, nesta estação meteorológica, foi instalado um radiômetro, aparelho de funcionamento eletrônico, mais preciso do que o actinógrafo. Dessa forma, é importante que, utilizando os dados de insolação e radiação solar global registrados a partir do ano de 2002, sejam determinados os coeficientes  $a$  e  $b$  da equação de Angström-PreScott para a estimativa da radiação solar global em função da insolação também para esta estação meteorológica.

Em vista do exposto, objetivou-se, neste trabalho, determinar os coeficientes  $a$  e  $b$  da equação de Angström-PreScott para estimar a radiação solar global a partir dos dados diários de insolação para a estação meteorológica de Santa Maria, pertencente ao 8º DISME.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados diários de densidade de fluxo de radiação solar global ( $Q_g$ ) e insolação ( $n$ ) registrados, respectivamente, por um radiômetro de funcionamento eletrônico e de um heliógrafo tipo Campbell-Stokes, período 2002-2008, instalados na estação meteorológica pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia – 8º DISME, do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, localizada no Campus da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (latitude: 29°42' S, longitude: 53°42' W e altitude: 95m). Os dados foram copiados nos arquivos do 8º Distrito de Meteorologia (8º DISME), em Porto Alegre - RS.

Determinou-se, para cada dia, a razão de radiação solar global ( $R$ ) e a razão de insolação ( $h$ ), com a utilização das equações:

$$R = Q_g / Q_o \quad (1)$$

$$h = n / N \quad (2)$$

em que  $Q_g$  é a radiação solar global,  $Q_o$  a radiação solar global extra terrestre, ambas em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;  $n$  a insolação real e  $N$  a duração máxima do brilho solar, ambas em h dia<sup>-1</sup>. Os valores de  $N$  e  $Q_o$  foram calculados, respectivamente, pelas equações (OMETTO, 1981):

$$N = (2/15) \arccos(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (3)$$

$Q_o = 37,60 \cdot (r_0 / D)^2 \cdot (H \sin \theta \cdot \sin \delta + \cos \theta \cdot \cos \delta \cdot \sin H)$  (4) sendo  $\phi$  a latitude do local (em graus e décimos),  $\delta$  a declinação solar (em graus e décimos),  $r_0$  distância média Terra-Sol (km),  $D$  distância Terra-Sol no momento considerado (km) e  $H$  a duração do dia solar em radianos, calculado pela equação:

$$H = \arccos(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (5)$$

A estimativa da radiação solar global ( $Q_g$ ) a partir da insolação real ( $n$ ) foi realizada utilizando-se a equação de regressão linear simples entre insolação e radiação solar global (equação 5) e também o modelo de Angström-PreScott (OMETTO, 1981; VIANELLO & ALVES, 1991; BLANCO & SENTELHAS, 2002; SANTOS et al., 2003; DANTAS et al., 2003) (equação 6):

$$Q_g = a + b n \quad (6)$$

$$Q_g = Q_o (a + b \cdot n/N) \quad (7)$$

em que  $a$  e  $b$  são os coeficientes linear e angular, respectivamente.

Para verificar o grau de ajustamento, foram calculados os respectivos coeficientes de determinação para cada mês e para cada estação do ano. Assim, com essas equações, é possível estimar, em função de  $n$ , os dados de  $Q_g$  para Santa Maria, desde 1912, considerando que o registro da insolação, nesta estação, teve início neste ano (BURIOL et al., 1991). Para os cálculos, foi utilizado o pacote estatístico SPSS. Para testar a validade do coeficiente  $b$ , usou-se o nível de significância de 0,05.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de determinação do modelo de regressão linear simples, considerando a insolação como variável independente e a radiação solar global como variável dependente, foram um milésimo mais elevados do que aqueles da equação de Angström-Prezcott nos meses de junho, novembro e dezembro. Em janeiro, foram iguais e, nos outros meses, aqueles do modelo de Angström-Prezcott foram mais elevados. As diferenças não foram muito acentuadas, mas, neste trabalho, foi adotado o modelo de Angström-Prezcott por ser utilizado universalmente.

Nas figuras 1 e 2, estão representados os diagramas de dispersão dos valores diários de insolação e radiação solar global para os doze meses

do ano, período 2002-2008, para Santa Maria, RS. Constata-se que existe, para todos os meses, uma estreita relação entre os valores diários da razão de insolação ( $n/N$ ) e a razão de radiação solar global ( $Q_g/Q_0$ ). Isto é confirmado pelos resultados das equações de regressão. Os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) variaram de 0,867, no mês de setembro, a 0,918, no mês de outubro, mostrando haver uma alta associação entre esses dois elementos meteorológicos.

Comparando-se os valores dos coeficientes de determinação obtidos neste trabalho com aqueles determinados por ESTEFANEL et al. (1990) com os dados diários registrados pelo actinógrafo tipo Robitz, para as estações meteorológicas de Boca do Monte, Julio de Castilhos e São Gabriel, constata-se que foram semelhantes.

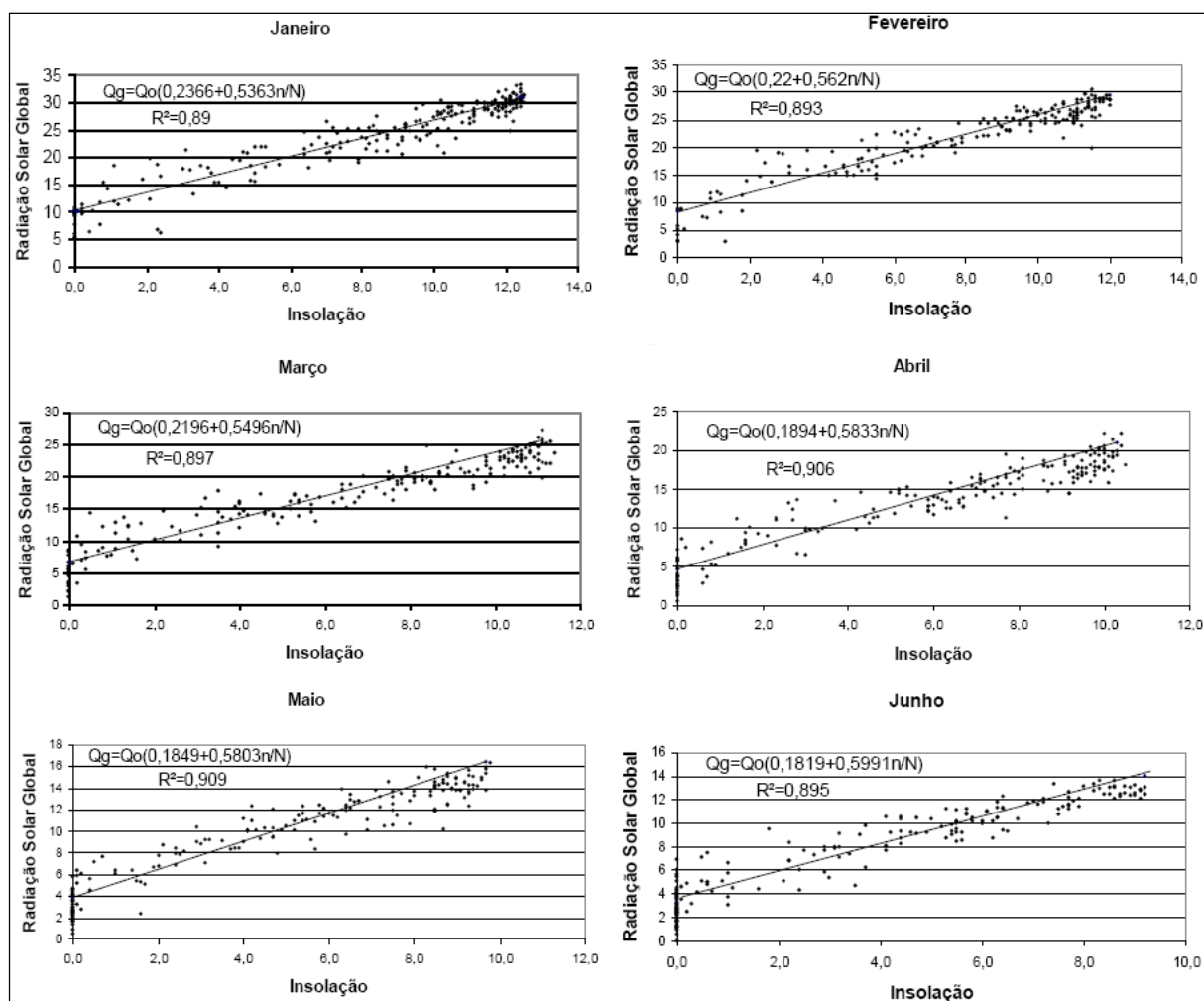


Figura 1 - Relação entre os valores diários de insolação ( $n$ , em  $h \text{ dia}^{-1}$ ) e radiação solar global ( $Q_g$ , em  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) para os meses de janeiro a junho, período de observações de 2002 a 2008, para Santa Maria, RS, registrados na estação meteorológica pertencente ao 8º DISMDE. Na equação,  $Q_0$  é a radiação solar global extra terrestre, em  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e  $N$  a duração máxima do brilho solar, em  $h \text{ dia}^{-1}$ .

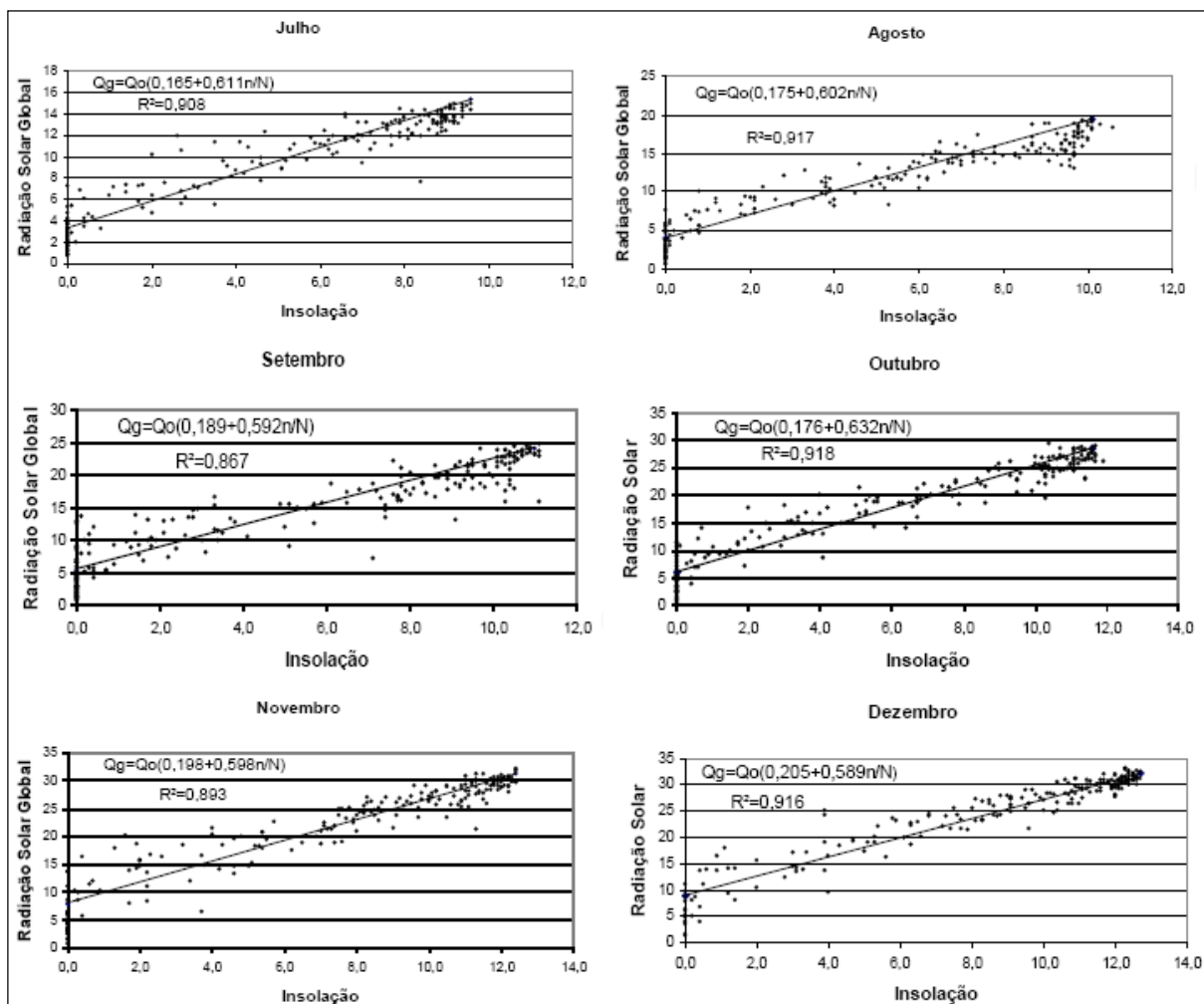


Figura 2 - Relação entre os valores diários de insolação ( $n$ , em  $\text{h dia}^{-1}$ ) e radiação solar global ( $Q_g$ , em  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ) para os meses de julho a dezembro, período de observações de 2002 a 2008, para Santa Maria, RS, registrados na estação meteorológica pertencente ao 8º DISMDE. Na equação,  $Q_o$  é a radiação solar global extra terrestre, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ , e  $N$  a duração máxima do brilho solar, em  $\text{h dia}^{-1}$ .

Os coeficientes de determinação entre os valores diários de insolação e radiação solar global, registrados nas diferentes estações do ano, figura 3, também são elevados. O menor valor de  $r^2$  (0,895) ocorreu na primavera.

Examinando as figuras 1 e 2, verifica-se que existem dias em que os valores de radiação solar global se afastam bastante da reta de regressão. Os valores que aparecem abaixo da reta representam situações em que o sol brilhou somente nas primeiras e/ou nas últimas horas do dia, quando a densidade de fluxo de radiação solar global é menor. Os valores acima da linha de regressão advêm de casos em que houve brilho solar somente nas horas próximas ao meio dia, quando a radiação solar global é mais intensa.

O valor do coeficiente  $a$  está relacionado com a radiação solar difusa e o coeficiente  $b$  com a radiação solar global direta, que depende da declinação solar ( $\delta$ ) e da transmissividade da atmosfera. Verifica-se que, para Santa Maria, o coeficiente  $a$  é maior no mês de janeiro e menor no mês de julho, indicando que a radiação solar difusa é maior no primeiro e menor no último. Com o coeficiente  $b$  acontece o contrário, indicando que a transmissividade é maior em julho do que em janeiro.

Os coeficientes de determinação encontrados para Santa Maria foram, com exceção de alguns meses, mais elevados do que aqueles encontrados por BLANCO & SENTELHAS, (2002); SANTOS et al. (2003); DANTAS et al. (2003).

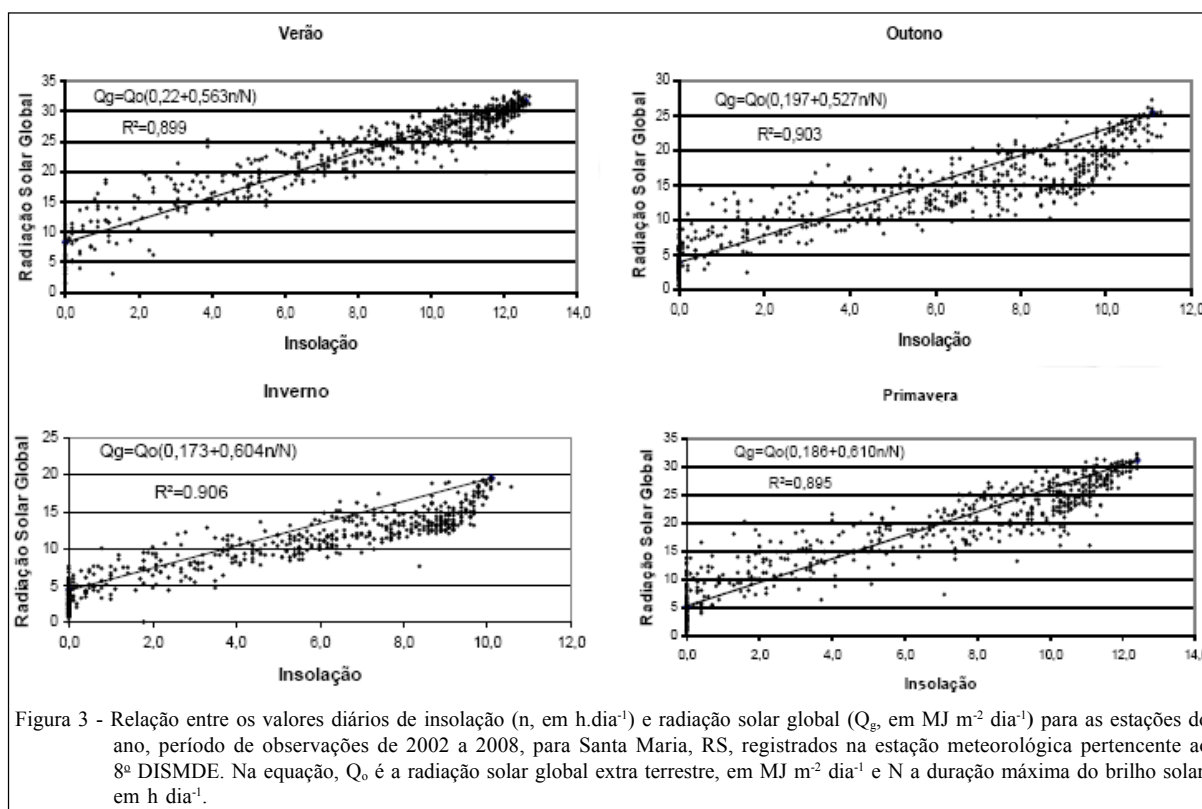


Figura 3 - Relação entre os valores diários de insolação ( $n$ , em  $h \cdot dia^{-1}$ ) e radiação solar global ( $Q_g$ , em  $MJ \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$ ) para as estações do ano, período de observações de 2002 a 2008, para Santa Maria, RS, registrados na estação meteorológica pertencente ao 8º DISMDE. Na equação,  $Q_o$  é a radiação solar global extra terrestre, em  $MJ \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$  e  $N$  a duração máxima do brilho solar, em  $h \cdot dia^{-1}$ .

## CONCLUSÃO

Pela alta relação entre os elementos meteorológicos insolação e densidade de fluxo de radiação solar global diários registrados na estação meteorológica de Santa Maria, pode-se utilizar os dados de radiação global estimados a partir daqueles de insolação.

Os valores mais elevados do coeficiente  $a$  da equação de Angström-Precott nos meses de verão do que nos de inverno é um indicativo de que a radiação solar global difusa é maior nesse período do ano do que nos meses mais frios. Os valores mais elevados do coeficiente  $b$  nos meses de inverno do que nos de verão é um indicando de que a transmissividade é maior nos meses inverniais do que nos estivais.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento e bolsas concedidas.

## REFERÊNCIAS

ANGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, London, v.50, p.121-126, 1924.

BLANCO, F.F.; SENTELHAS, P.C. Coeficientes da equação de Angström – Prescott para a estimativa da insolação para Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.10, n.2, p.295-300, 2002.

BURIOL, G.A. et al. Insolação e radiação solar na região de Santa Maria, RS: II – Disponibilidade e variabilidade. *Revista Centro de Ciências Rurais*, Santa Maria, v.21, n.2, p.205-223, 1991.

DANTAS, A.A.A. et al. Estimativa da radiação solar global para a região de Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.27, n.6, p.1260-1263, 2003.

ESTEFANEL, V. et al. Insolação e radiação solar na região de Santa Maria, RS: 1 - Estimativa da radiação solar global incidente a partir dos dados de insolação. *Revista Centro de Ciências Rurais*, Santa Maria, v.20, n.3-4, p.203-218, 1990.

OMETTO, J.C. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425p.

PRESCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society Science Australian*, Adelaide, v.64, p.114-118, 1940.

SANTOS, R.A. et al. Estimativa da radiação solar global diária em Ilha Solteira, São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia, GO. *Anais...* Goiânia: COMBEA, 2003. (CD-ROM).

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: UFV, 1991. 449p.