

## Coeficientes da equação de Angström-Prescott para Parnaíba, Piauí

Aderson Soares de Andrade Júnior<sup>1\*</sup>, Donavan Holanda Noletto<sup>2</sup>,  
Maria Eveline da Silva<sup>1</sup>, Darlan Leão Braga<sup>3</sup>, Edson Alves Bastos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, Brasil

<sup>2</sup>Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, Brasil

<sup>3</sup>Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Ceará, Fortaleza, CE, Brasil

\*Autor correspondente, e-mail: aderson@cpamn.embrapa.br

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi estimar os coeficientes  $a$  e  $b$  da equação de Angström-Prescott, para Parnaíba, Piauí. Foram utilizados dados de radiação solar global, no período de 2004 a 2010, de uma estação agrometeorológica automática, e de insolação, de uma estação convencional, ambas da rede do INMET e instaladas na Embrapa Meio-Norte. Os coeficientes foram determinados por análise de regressão linear, para os períodos chuvoso (meses de janeiro a maio), seco (meses de junho a dezembro) e anual. Os coeficientes  $a$  e  $b$  foram iguais a  $0,3107 \pm 0,007$  e  $0,5383 \pm 0,012$  (período chuvoso) e  $0,3130 \pm 0,011$  e  $0,5086 \pm 0,014$  (período seco), respectivamente. Os coeficientes anuais  $a$  e  $b$  foram iguais a  $0,3207 \pm 0,006$  e  $0,4598 \pm 0,009$ , respectivamente. Os coeficientes sazonais e anuais não apresentaram diferenças significativas entre si, sendo, portanto, recomendado a adoção dos coeficientes anuais, independentemente da época do ano.

**Palavras-chave:** balanço de energia, duração de brilho solar, radiação solar

### Angström-Prescott equation coefficients to Parnaíba, Piauí State, Brazil

### Abstract

The objective of this work was to estimate  $a$  and  $b$  coefficients of Angström-Prescott equation for Parnaíba, Piauí State, Brazil. Data from 2004 to 2010 of global solar radiation, collected from weather automatic station and data of duration of sunshine, collected from conventional station, were used. The weather automatic station, installed at Embrapa Mid North, belong to INMET network. Angström-Prescott coefficients were determined by linear regression analysis considering rainy (from January to May) and dry (from June to December) season and annual periods. Seasonal coefficients  $a$  and  $b$  were  $0.3107 \pm 0.007$  and  $0.5383 \pm 0.012$  (rainy season) and  $0.3130 \pm 0.011$  and  $0.5086 \pm 0.014$  (dry season). Annual coefficients  $a$  and  $b$  were  $0.3207 \pm 0.006$  e  $0.4598 \pm 0.009$ , respectively. The seasonal and annual coefficients showed no significant differences. Therefore, the adoption of annual coefficients is recommended.

**Key words:** energy balance, duration of sunshine, solar radiation

Recebido: 16 Julho 2011  
Aceito: 17 Novembro 2011

## Introdução

Um dos principais parâmetros climatológicos que afeta a evaporação da água do solo e a transpiração das plantas, cuja associação é chamada de evapotranspiração, é a radiação solar (Pereira et al., 2002). É um elemento meteorológico que condiciona a temperatura do ar e do solo, sendo sua utilização muito importante também na realização de estudos de zoneamento agrícola, estabelecimento e utilização de modelos de crescimento e produção na agricultura (Fontana & Oliveira, 1996).

Porém, a quantificação da radiação solar exige instrumentos de custo elevado, como radiômetros, actinôgrafos e piranômetros, que requerem calibração e manutenção constantes (Dornelas et al., 2006). Contudo, para os locais onde não existe disponibilidade de dados de radiação solar, este elemento climatológico pode ser estimado com boa precisão usando-se os coeficientes de regressão  $a$  e  $b$  da equação de Angström - Prescott. A radiação solar global é essencial para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), necessária para o manejo de irrigação das culturas.

Os coeficientes da equação de Angström-Prescott dependem, principalmente, das características físicas da camada atmosférica e são influenciados pela latitude e altitude do local, bem como pela época do ano (Pereira et al., 2002).

Alguns estudos foram executados para a definição desses coeficientes nas condições brasileiras (Blanco & Sentelhas, 2002; Dallacort et al., 2004; Melania & Reinaldo, 2005; Dornelas et al., 2006; Conceição & Mandelli, 2006; Torres et al., 2010; Pereira et al., 2010).

No caso específico do Piauí, Vianello & Alves (1991) apresentam valores médios anuais dos coeficientes da equação de Angström - Prescott, para Teresina, iguais  $a = 0,31$  e  $b = 0,37$ . No entanto, não foram encontradas, na literatura, informações sobre esses coeficientes para outras localidades, dentre elas, Parnaíba. Esses coeficientes são úteis para essa região, notadamente, para o manejo de água no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI). Dessa forma, conduziu-se este trabalho para estimar os coeficientes  $a$  e  $b$  da equação de Angström-Prescott, para as condições climáticas de Parnaíba, Piauí.

## Material e Métodos

Os dados meteorológicos foram coletados na Unidade de Execução de Pesquisa (UEP), da Embrapa Meio-Norte, situada em Parnaíba, a 03°05'S, 41°46'W e 46,8 metros de altitude. O clima do município, segundo a classificação de Thornthwaite & Mather (1955), é sub-úmido seco, megatérmico, com pequeno excedente hídrico no verão (Bastos et al., 2008). A precipitação média anual é de 925,0 mm (média

histórica de 1978 a 2007), com temperaturas médias anuais: máxima de 32,8°C e mínima de 23,3°C (Bastos et al., 2000).

Os dados de radiação solar global (R<sub>g</sub>) foram obtidos por meio de um piranômetro de termopar instalado em uma estação meteorológica automática. Os dados de insolação ( $n$ ) foram obtidos de um heliógrafo de uma estação meteorológica convencional, ambas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O período de coleta dos dados compreendeu os anos de 2004 a 2010, totalizando 1.945 registros diários, excluindo-se os dias sem registros.

Os coeficientes foram determinados em três períodos do ano: período chuvoso (janeiro a maio), período seco (junho a dezembro) e anual, conforme recomendação de balanço hídrico do município apresentado por Bastos et al. (2008). Os coeficientes foram obtidos por análise de regressão linear, com todos os dados diários de  $n$  e R<sub>g</sub> medidos nos períodos, usando-se a planilha eletrônica Excel. A equação de Angström - Prescott correlaciona a radiação solar global (R<sub>g</sub>) com a razão de insolação ( $n/N$ ), por meio da equação 1 (Pereira et al., 2002):

$$\frac{R_g}{Q_o} = a + b \left( \frac{n}{N} \right) \quad (1)$$

em que: R<sub>g</sub> é a radiação solar global (MJ/m<sup>2</sup>/dia);  $n$  representa as horas de insolação (h/dia);  $N$  é a duração máxima possível do dia (h/dia); Q<sub>o</sub> é a radiação solar no topo da atmosfera (MJ/m<sup>2</sup>/dia);  $a$  é o coeficiente que expressa a fração da radiação no topo da atmosfera que atinge a terra em dias totalmente nublados, correspondente à fração difusa, e  $b$  é o coeficiente complementar que expressa o total de radiação solar global. As estimativas de Q<sub>o</sub> e de  $N$  foram efetuadas conforme as equações abaixo (Pereira et al., 1997):

$$Q_o = 37,586 \cdot dr \cdot (\omega_s \cdot \sin \phi' \cdot \sin \delta + \cos \phi' \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s) \quad (2)$$

$$dr = 1 + 0,033 \cdot \cos \left( J \frac{2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan \phi' \cdot \tan \delta) \quad (4)$$

$$\delta = 0,4093 \cdot \sin \left( J \frac{2\pi}{365} - 1,405 \right) \quad (5)$$

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (6)$$

em que:  $dr$  - distância relativa Terra - Sol;  $\omega_s$  - ângulo horário do pôr do Sol (rad);  $\phi'$  - latitude do local (rad);  $\delta$  - declinação solar (rad) e  $J$  - número do dia do ano.

A avaliação da equação foi feita com base nos seguintes critérios estatísticos: coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), raiz quadrada do erro médio (REQM) e coeficiente residual de massa (CRM), conforme descrito por Loague & Green (1991) e Xevi et al. (1996). O coeficiente

de determinação ( $R^2$ ) pode ser interpretado como a proporção da variância em  $R_g/Q_o$  que pode ser atribuída à variância em  $n/N$  (equação 7). A raiz quadrada do quadrado médio do erro (RQME) permite que se verifique o erro obtido na estimativa dos valores observados (equação 8):

$$R^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right)^2 \quad (7)$$

$$RQME = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (8)$$

em que:  $R^2$  - coeficiente de determinação de Pearson;  $x_i$  - valor observado da razão de insolação ( $n/N$ );  $\bar{x}$  - média dos valores observados da razão de insolação ( $n/N$ );  $y_i$  - valor observado da razão de radiação ( $R_g/Q_o$ );  $\bar{y}$  - média dos valores observados da razão de radiação ( $R_g/Q_o$ ); RQME - raiz quadrada do quadrado médio do erro;  $\hat{y}_i$  - valor estimado da razão de radiação ( $R_g/Q_o$ ) e  $n$  - número de observações.

O coeficiente residual de massa (CRM) é menor ou igual a 1, com o valor zero indicando a condição ótima de ajuste. O CRM representa a medida da tendência do modelo em superestimar ou subestimar os valores observados, em que valores positivos indicam tendência à superestimação pelo modelo. A expressão matemática que descreve essa medida é dada pela equação 9:

$$CRM = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \hat{y}_i - \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} \right] \quad (9)$$

em que: CRM - coeficiente residual de massa.

## Resultados e Discussão

Os valores sazonais de  $a$  variaram de  $0,3130 \pm 0,011$  (período seco) a  $0,3107 \pm 0,007$  (período chuvoso), e o coeficiente  $b$ , de  $0,5383 \pm 0,012$  (período chuvoso) a  $0,5086 \pm 0,014$  (período seco) (Tabela 1). Os valores de  $a$  e  $b$  variaram pouco ao longo dos períodos chuvoso e seco, ficando próximos aos valores obtidos a partir da média anual ( $a = 0,3207 \pm 0,005$  e  $b = 0,4598 \pm 0,008$ ) (Tabela 1). Este fato pode ter ocorrido porque o município de Parnaíba está situado na região litorânea, com baixa latitude (mais próxima a linha do Equador) e pequena amplitude nos valores diários de insolação ao longo do ano (Torres et al., 2010). Dessa forma, pode-se adotar a estimativa da radiação solar a partir dos coeficientes anuais, sem cometer erros

significativos na estimativa da radiação solar global para o município.

Comparando-se os valores de  $a$  e  $b$  estimados com os valores sugeridos pela FAO (Allen et al., 1998), que são 0,25 ( $a$ ) e 0,50 ( $b$ ), os coeficientes para o período chuvoso e seco obtidos neste estudo apresentaram diferenças de 24,3% para  $a$  e de 7,7% para  $b$  (período chuvoso) e de 25,2% para  $a$  e de 1,7% para  $b$  (período seco). Diferenças com essa mesma ordem de grandeza também foram observadas por Dornelas et al. (2006) ao estimar os valores de  $a$  e  $b$  para Brasília, DF. A diferença entre os coeficientes obtidos com os valores sugeridos pela FAO evidencia a importância da calibração local desses coeficientes, tornando os resultados estimados da radiação global mais próxima dos valores medidos.

Os coeficientes de determinação de Pearson ( $R^2$ ), iguais a 0,714 (período chuvoso) e 0,515 (período seco), não foram muito elevados, notadamente, no período seco do ano. Dornelas et al. (2006) obtiveram valores de  $R^2$  maiores do que os obtidos neste estudo, oscilando de 0,82 a 0,95. Provavelmente, este melhor ajuste ocorreu devido à maior série de dados utilizados (25 anos), para estimar os coeficientes  $a$  e  $b$  para Brasília, DF.

Os maiores desvios observados nos valores de  $a$  e  $b$  ocorreram no período seco ( $\pm 0,011$  e  $\pm 0,014$ ), respectivamente, enquanto os menores desvios foram constatados no período anual ( $\pm 0,005$  e  $\pm 0,008$ ), respectivamente. Em Brasília, DF, Dornelas et al. (2006) evidenciaram que nos meses mais chuvosos e quentes (outubro a abril) ocorreram os menores desvios nos coeficientes  $a$  e  $b$  em comparação com os meses frios e secos (maio a setembro).

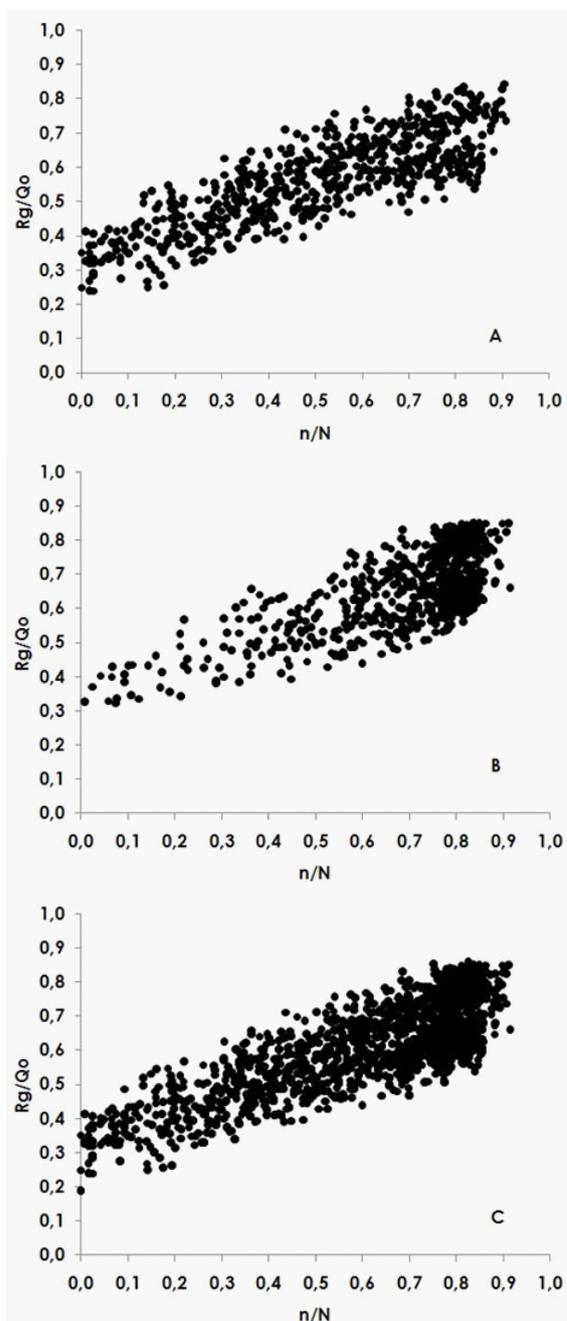
Esse comportamento é reflexo da melhor distribuição dos valores da relação  $R_g/Q_o$  e  $n/N$  durante o período chuvoso e anual em comparação ao período seco, onde houve uma concentração maior de valores elevados dessas relações devido à redução da nebulosidade e ao aumento da radiação solar nessa época do ano (Figura 1). Os coeficientes para o período anual foram  $0,3207 \pm 0,005$  e  $0,4598 \pm 0,008$  (Tabela 1), ficando 28,3% acima de 0,25 e 8,0% abaixo de 0,50, valores sugeridos pela FAO (Allen et al., 1998) para  $a$  e  $b$ , respectivamente.

Essas diferenças reduzidas para o coeficiente  $b$  sugerem que ambos podem ser utilizados na estimativa da radiação solar global em Parnaíba, PI. Comparando-se os valores dos coeficientes  $a$  e  $b$  anuais da equação de Angström - Prescott, determinados neste estudo

**Tabela 1.** Valores sazonais e anuais dos coeficientes  $a$  e  $b$  da equação de Angström - Prescott para Parnaíba, PI, e respectivos índices estatísticos avaliados.

| Período      | a                     | b                     | R <sup>2</sup> | RQME          | CRM           |
|--------------|-----------------------|-----------------------|----------------|---------------|---------------|
| Chuvoso      | 0,3107 ± 0,007        | 0,5383 ± 0,012        | 0,7145         | 0,1870        | 0,0516        |
| Seco         | 0,3130 ± 0,011        | 0,5086 ± 0,014        | 0,5153         | 0,1664        | -0,0873       |
| <b>Anual</b> | <b>0,3207 ± 0,005</b> | <b>0,4598 ± 0,008</b> | <b>0,6296</b>  | <b>0,0780</b> | <b>0,0000</b> |

( $a = 0,3207$  e  $b = 0,4598$ ), com os valores anuais dos municípios de Teresina ( $a = 0,31$  e  $b = 0,37$ ) (Vianello & Alves, 1991) e Brasília ( $a = 0,278$  e  $b = 0,498$ ) (Dornelas et al., 2006), observa-se que, neste caso, o valor de  $a$  aproximou-se bastante do obtido para essas localidades.



**Figura 1.** Gráficos de dispersão dos valores da razão de radiação ( $R_g/Q_o$ ) e razão de insolação ( $n/N$ ) para os períodos chuvoso (A), seco (B) e anual (C). Parnaíba, PI.

Como o valor de  $a$  representa a fração da radiação difusa no topo da atmosfera que ocorre em dias nublados, está naturalmente menos sujeita a variações sensíveis decorrentes de fenômenos atmosféricos próximos da superfície. Entretanto, o valor de  $b$  foi superior ao de Teresina e mais próximo ao valor recomendado para

Brasília, DF, e pela FAO (0,50). O comportamento esperado, devido à posição geográfica (latitude), seria de uma aproximação maior com o valor de  $b$  definido para Teresina, uma vez que a diferença de latitude entre os dois locais é de apenas dois graus e apresentam altitudes próximas (46 m, em Parnaíba, e 76 m, em Teresina). Esse comportamento, provavelmente, pode ser explicado pelas diferenças metodológicas para as estimativas de  $Q_o$  e  $N$  e aos equipamentos utilizados na medição da radiação solar global e insolação.

Os resultados dos testes estatísticos apresentados na Tabela 1 permitem inferir que a equação de Angstrom - Prescott pode ser usada na estimativa da radiação solar global para Parnaíba, PI, com os coeficientes  $a$  e  $b$  estimados no período anual, uma vez que os valores de RQME e CRM são próximos do valor zero, apesar do valor de  $R^2$  ter sido igual a 0,6296. Houve tendência de superestimativa de 5,16% no valor da radiação solar global na estação chuvosa, enquanto, há subestimativa de 8,73% no período seco. No período anual, não houve nenhuma tendência na estimativa dos valores diários de radiação solar global, com valor de CRM igual a zero (Xevi et al, 1996).

#### Conclusões

i) Não houve diferenças sensíveis entre os coeficientes  $a$  e  $b$  obtidos para o período chuvoso e seco em comparação com o período anual;

ii) Os coeficientes anuais  $a$  e  $b$  da equação de Angström - Prescott são iguais a 0,3207 e 0,4598, podendo ser indicados sem prejuízos para o cálculo da radiação solar global, em Parnaíba, em qualquer época do ano.

#### Referências

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements*. FAO, Rome, Italy. 297 p.

Bastos, E.A., Rodrigues, B.H.N., Andrade Júnior, A.S. 2000. *Dados agrometeorológicos para o município de Parnaíba, PI (1990 – 1999)*. Embrapa Meio-Norte, Teresina, Brasil. 27p.

Bastos, E.A., Andrade Junior, A.S., Rodrigues, B.H.N. 2008. *Boletim agrometeorológico para o município de Parnaíba, Piauí*. Embrapa Meio-Norte, Teresina, Brasil. 37p.

Blanco, F.A., Sentelhas, P.C. 2002. Coeficientes da equação de Angstrom - Prescott para estimativa da insolação para Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 10: 295-300.

Conceição, M.A.F., Mandelli, F. 2006. *Estimativa diária da radiação solar incidente com base no número de horas de brilho solar para a região de Bento Gonçalves, RS*. Embrapa Uva e Vinho,

Bento Gonçalves, Brasil. 12 p.

Dallacort, R., Freitas, P.S.L., Gonçalves, A.C.A., Rezende, R., Bertonha, A., Silva, F.F., Trintinalha, M. 2004. Determinação dos coeficientes da equação de Angstrom para a região de Palotina, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum Agronomy* 26: 329-336.

Dornelas, K.D.S., Silva, C.L., Oliveira, C.A.S. 2006. Coeficientes médios da equação de Angstrom - Prescott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41: 1213-1219.

Fontana, D. C., Oliveira, D. 1996. Relação entre radiação solar global e insolação para o Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 4: 87-91.

Loague, K., Green, R. E. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology* 7: 51-73.

Melania, I.V., Reinaldo, P.R. 2005. Estimativa da irradiação solar global com partição mensal e sazonal para a região de Cascavel – PR. *Engenharia Agrícola* 25: 76-85.

Pereira, A.R., Villa Nova, N.A., Sedyama, G.C. 1997. *Evapotranspiração*. FEALQ, Piracicaba, Brasil. 183p.

Pereira, A.R., Angelocci, L.R., Sentelhas, P.C. 2002. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Agropecuária, Guaíba, Brasil. 478p.

Pereira, S.T., Santos, W.C.P., Amorim, J.S., Rocha, F.A., Silva, J.O. 2010. Estimativa da radiação solar global para a região de Pedra Azul, Norte de Minas Gerais. *Enciclopédia Biosfera* 6: 1-9.

Thornthwaite, C.W., Mather, J.R. 1955. *The water balance*. Drexel Institute of Technology, New Jersey, USA. 104 p.

Torres, C.J.F., Silva, N.L., Barros, F.M., Rocha, F.A., Silva, J.O. 2010. Determinação dos coeficientes do modelo de Angstrom - Prescott para a região de Canavieiras, estado da Bahia. *Enciclopédia Biosfera* 6: 1-7.

Vianello, R.L., Alves, A.R. 1991. *Meteorologia básica e aplicações*. Imprensa Universitária, Viçosa, Brasil. 449 p.

Xevi, E., Gilley, J., Feyen, J. 1996. Comparative study of two crop yield simulation models. *Agricultural Water Management* 30: 155-173.