

Parametrização das equações de Hargreaves & Samani e Angström-Preseott para estimativa da radiação solar na região de Telêmaco Borba, Estado do Paraná

Parameterization of Hargreaves & Samani and Angstrom-Preseott equations to estimate solar radiation in the region of Telemaco Borba, Parana State, Brazil

Daniela Jerszurki¹ Jorge Luiz Moretti de Souza^{II}

RESUMO

A estimativa da radiação solar incidente (R_s) por equações matemáticas é útil quando não se dispõe de estações meteorológicas que a registrem. O objetivo do trabalho foi estimar, para os períodos anual, sazonal e mensal, o coeficiente empírico K_{rs} da equação de Hargreaves & Samani e os coeficientes a e b da equação de Angström-Preseott para estimar a R_s , confrontando valores estimados com valores observados para o município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná. Utilizaram-se dados históricos diários (janeiro de 1981 a janeiro de 2011) de temperatura máxima, mínima e média do ar, radiação solar global acumulada, insolação diária e radiação solar incidente no topo da atmosfera (R_a), calculada com metodologia recomendada pela Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. Ocorre maior associação entre R_s estimada e observada com valores de K_{rs} anual e sazonal. Os coeficientes a e b apresentaram índices "c" "ótimo" (" c " > 0,85) para estimar R_s nos períodos analisados. Os resultados sugerem que os coeficientes encontrados podem ser utilizados para estimar valores de R_s na região.

Palavras-chave: coeficiente empírico, estimativa, radiação solar.

ABSTRACT

The estimation of solar radiation (R_s) by mathematical equations is useful when there are no weather stations that record. The objective of this study was to estimate, for the periods annual, seasonal and monthly, the empirical coefficient K_{rs} of Hargreaves & Samani equation and the coefficients a and b of Angstrom-Preseott equation for estimating R_s , comparing estimated values with observed values for Telemaco Borba, Paraná. Used historical data daily (January 1981 to January 2011) maximum, minimum and

average air temperature, cumulative global solar radiation, daily insolation and extraterrestrial radiation (R_a), calculated using a methodology recommended by the Food and Agriculture Organization of the United Nations- (FAO). There is greater association between estimated and observed R_s with values of annual and seasonal K_{rs} . The coefficients a and b show indices "c" "great" (" c " > 0.85) to estimate R_s in the periods analyzed. The results suggest that the coefficients found are used to estimate values of the region.

Key words: empirical coefficient, estimate, solar radiation.

INTRODUÇÃO

A radiação solar tem grande influência sobre os processos atmosféricos e terrestres, alterando a temperatura e a circulação atmosférica (SOUZA et al., 2008). Segundo CARGNELUTTI FILHO et al. (2007), sua medida em um determinado local e período do ano é imprescindível para estudos ambientais, possibilitando a modelagem meteorológica e climática. Além disso, é utilizada em estudos de necessidade hídrica de culturas irrigadas, modelagem de crescimento, mudanças climáticas, dentre outras (BORGES et al., 2010). Apesar disso, existem poucas estações meteorológicas que registram a radiação solar, fazendo com que a disponibilidade de dados medidos seja reduzida (POLO et al., 2011). No Brasil, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dispõe de 321 estações meteorológicas convencionais. Dessas, 232

^IPós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil.

^{II}Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, 80035-050, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: jmoretti@ufpr.br. Autor para correspondência.

medem a insolação e somente 58 (18,1%) a radiação solar incidente (R_s), por meio de actinógrafos (LIMA, 2005). Além da falta de estações que estimem esses parâmetros, as que existem estão centralizadas nas regiões mais desenvolvidas do país, enquanto há grandes áreas agrícolas que não dispõem de dados climáticos completos.

Na tentativa de eliminar o problema, vários modelos matemáticos foram desenvolvidos para a estimativa da R_s . No entanto, frequentemente, necessitam de dados climáticos, que nem sempre estão disponíveis nas estações meteorológicas, que medem principalmente temperatura e precipitação, e necessitam também de calibração quando utilizados em condições diferentes das que foram desenvolvidos (BORGES et al., 2010). Dentre os diversos modelos matemáticos que estimam a radiação solar incidente (R_s), destaca-se a equação desenvolvida por HARGREAVES & SAMANI (1982), baseada na amplitude térmica diária, radiação solar no topo da atmosfera (R_a) e no coeficiente de ajuste (K_{rs}). Na equação, a amplitude térmica diária pode ser usada como um indicador da fração da R_a que chega à superfície do solo, ou seja, a R_s .

Para localidades do interior, onde dominam as grandes extensões de terra e as massas de ar não são fortemente influenciadas por um grande corpo de água, o valor do K_{rs} recomendado é de 0,16. No entanto, para localidades costeiras, onde as massas de ar estão influenciadas por uma massa de água nas proximidades, o K_{rs} recomendado é de 0,19 (ALLEN et al., 1998). No entanto, o K_{rs} pode ser melhor estimado para as condições de uma determinada localidade, refletindo melhores estimativas da R_s . Outra equação, amplamente utilizada é a de Angström-Prescott (PRESCOTT, 1940), que estima a R_s a partir de medidas do número efetivo de horas de brilho solar. ANGSTRÖM (1924) apresentou uma equação em que o quociente entre R_s e R_a foi linearmente correlacionado com o quociente do número de horas de brilho solar (n) pela insolação máxima possível (N). PRESCOTT (1940) simplificou a equação para que os coeficientes linear (a) e angular (b) pudessem ser obtidos a partir de ajustes estatísticos, sendo que o método foi denominado de Angström-Prescott. A equação de Angström-Prescott pode ser utilizada tanto para estimar a R_s , quanto para obter n em estações automáticas que normalmente não medem esse valor. A *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) (ALLEN et al., 1998) apresenta os valores dos coeficientes a (0,25) e b (0,50) considerados padrão, no entanto, esses coeficientes podem ser estimados regionalmente, refletindo-se em valores mais confiáveis de R_s .

O objetivo do presente trabalho foi estimar o coeficiente empírico K_{rs} da equação de Hargreaves & Samani, bem como os coeficientes a e b da equação

de Angström-Prescott para estimar a R_s , confrontando os valores estimados com os valores observados para o município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

As análises do presente trabalho foram realizadas para o município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná. A região está localizada no Segundo Planalto Paranaense e, segundo a classificação de Köppen, apresenta clima tipo Cfa/Cfb, subtropical úmido transicional para temperado propriamente dito, com temperatura média no mês mais frio inferior a 16°C, com ocorrência de geadas e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes (IAPAR, 2000). Foram utilizados dados históricos diários de temperatura máxima, mínima e média do ar (°C), radiação solar global acumulada ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) e insolação diária (h dia^{-1}), de janeiro de 1981 a janeiro de 2011, provenientes de uma estação climatológica instalada na Fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin Florestal, localizada na região de Telêmaco Borba, Estado do Paraná, com altitude média de 885 m, nas coordenadas 24°13' de latitude Sul e 50°32' de longitude Oeste. A radiação solar incidente no topo da atmosfera (R_a) foi calculada de acordo com metodologia apresentada por ALLEN et al. (1998), a qual é baseada na latitude do local e no dia juliano. As estimativas do coeficiente K_{rs} foram realizadas empregando-se a equação de HARGREAVES & SAMANI (1982).

$$R_s = K_{rs} \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} \cdot R_a$$

Sendo: R_s - radiação solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); K_{rs} - coeficiente empírico ($^{\circ}\text{C}^{-0,5}$); T_{\max} - temperatura máxima do ar (°C); T_{\min} - temperatura mínima do ar (°C); R_a - radiação solar incidente no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$).

Para as estimativas dos coeficientes a e b , foi utilizada a equação de Angström-Prescott (PRESCOTT, 1940).

$$R_s = R_a \cdot \left(a + b \cdot \frac{n}{N} \right)$$

Sendo: R_s - radiação solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); R_a - radiação solar incidente no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); n - insolação diária (h dia^{-1}); N - duração máxima teórica do dia (h dia^{-1}); a - coeficiente linear; b - coeficiente angular.

Os coeficientes a e b da equação Angström-Prescott, para os períodos anual, sazonal e mensal, foram obtidos a partir de análise estatística de regressão linear, estimando R_s a partir de n . Para verificar a correlação entre os resultados de R_s observados e estimados, foram realizadas análises de regressão linear

com a obtenção dos seus respectivos coeficientes (R). Para avaliar o grau de concordância entre as estimativas e os valores observados de Rs, foi utilizado o índice “d” de WILLMOTT et al. (1985):

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Rs_i - Rs_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (|Rs_i - \bar{Rs}_o| + |Rs_{oi} - \bar{Rs}_o|)^2}$$

Sendo: d – índice de concordância de WILLMOTT et al. (1985); Rs_i – radiação solar incidente estimada no i-ésimo dia (MJ m⁻² dia⁻¹); Rs_{oi} – radiação solar incidente observada no i-ésimo dia (MJ m⁻² dia⁻¹); \bar{Rs}_o – média da radiação solar incidente observada no período considerado (MJ m⁻² dia⁻¹).

Para comparação dos valores observados e estimados, foi utilizada uma adaptação do índice de desempenho “c” adotado por CAMARGO & SENTELHAS (1997):

$$c = |R \cdot d|$$

Sendo: c – índice “c” de desempenho proposto por CAMARGO & SENTELHAS (1997) (adimensional); R – coeficiente de correlação (adimensional) obtido na regressão linear (adimensional); d – índice “d” de concordância proposto por WILLMOTT et al. (1985) (adimensional).

O critério de interpretação do índice “c” tem os seguintes desempenhos: ótimo (“c” > 0,85); muito bom (0,75 < “c” ≤ 0,85); bom (0,65 < “c” ≤ 0,75); mediano (0,60 < “c” ≤ 0,65); sofrível (0,50 < “c” ≤ 0,60); mau (0,40 < “c” ≤ 0,50); e péssimo (“c” ≤ 0,40).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que os valores do coeficiente empírico Krs ficaram entre 0,11 e 0,12 ao longo das estações e meses do ano (Tabela 1). Os resultados discordam do valor de 0,16 recomendado por ALLEN et al. (1998) para regiões do interior. O índice “d” de WILLMOTT et al. (1985), considerando a estimativa da Rs com o coeficiente Krs, foi de 0,91 para o período anual, variando de 0,79 a 0,87 ao longo do ano. Comparando-se os valores observados e estimados de Rs, as análises indicaram índices de desempenho “c” “mediano” (0,60 < “c” ≤ 0,65) a “muito bom” (0,75 < “c” ≤ 0,85) para os períodos anual, sazonal e mensal (Tabela 2). Pode-se inferir que houve maior associação entre a Rs estimada e observada quando se utilizaram valores de Krs anual e sazonal (Tabela 2). Os piores resultados ocorreram para o mês de fevereiro, provavelmente, devido à dispersão que ocorre em períodos chuvosos, quando os valores de Rs medidos são menores do que os calculados. Entretanto, a

Tabela 1 - Estimativa do coeficiente empírico Krs para um período anual, sazonal e mensal, para uma série de 31 anos, para a região de Telêmaco Borba – PR.

Período	Série (anos)	----- Valores de Krs (adimensional) -----			CV* (%)
		Média	Maior	Menor	
Anual	31	0,12	0,13	0,10	3,60
Verão	31	0,12	0,17	0,10	8,46
Outono	31	0,12	0,14	0,08	8,64
Inverno	31	0,11	0,13	0,07	8,09
Primavera	31	0,11	0,16	0,10	8,55
Janeiro	31	0,12	0,18	0,10	12,89
Fevereiro	31	0,12	0,16	0,10	8,88
Março	31	0,12	0,13	0,10	6,18
Abril	31	0,12	0,14	0,09	7,76
Maio	31	0,12	0,15	0,07	13,06
Junho	31	0,11	0,13	0,06	11,68
Julho	30	0,12	0,14	0,07	10,71
Agosto	30	0,11	0,12	0,08	7,40
Setembro	30	0,11	0,14	0,09	8,88
Outubro	30	0,11	0,14	0,10	8,30
Novembro	30	0,12	0,18	0,10	11,53
Dezembro	30	0,12	0,21	0,10	15,01

* Coeficiente de variação (CV) dos valores de Krs.

Tabela 2 - Coeficiente de correlação (R), índice “d” de WILLMOTT et al. (1985) e índice “c” de Camargo & Sentelhas (1997), obtidos nas análises contrastando os valores observados e estimados de Rs, para uma série de 30 anos, para a região de Telêmaco Borba – PR.

Período	Série (anos)	R	“d”	“c”
		----- (adimensional) -----		
Anual	29	0,86	0,91	0,79
Verão	30	0,82	0,85	0,70
Outono	30	0,86	0,87	0,75
Inverno	29	0,82	0,87	0,72
Primavera	29	0,85	0,84	0,72
Janeiro	30	0,84	0,82	0,69
Fevereiro	30	0,78	0,79	0,62
Março	30	0,82	0,82	0,68
Abril	30	0,82	0,83	0,69
Mai	30	0,83	0,83	0,69
Junho	30	0,82	0,83	0,69
Julho	29	0,79	0,81	0,64
Agosto	29	0,77	0,80	0,64
Setembro	29	0,79	0,79	0,65
Outubro	29	0,86	0,82	0,70
Novembro	29	0,85	0,83	0,71
Dezembro	29	0,84	0,84	0,71

estimativa de Rs pode apresentar melhor desempenho quando são empregadas metodologias que utilizem dados de temperatura e precipitação pluvial (PODESTÁ et al., 2004; WEISS & HAYS, 2004).

As análises estatísticas evidenciaram que, em média, o parâmetro “a” foi igual a 0,19 para o período anual, apresentando variações ao longo das estações e meses do ano (Tabela 3). Os maiores valores de “a”

Tabela 3 - Parâmetros estatísticos dos coeficientes linear (a) e angular (b), obtidos nas análises de regressão linear, considerando os períodos anual, sazonal e mensal, para uma série de 30 anos, para a região de Telêmaco Borba - PR.

Período	Série (anos)	----- Parâmetro a -----				----- Parâmetro b -----			
		Média	Menor	Maior	CV*	Média	Menor	Maior	CV*
Anual	28	0,19	0,17	0,23	7,45	0,41	0,36	0,45	5,89
Verão	29	0,22	0,18	0,27	8,76	0,36	0,3	0,41	6,86
Outono	29	0,19	0,14	0,24	12,06	0,41	0,35	0,48	8,35
Inverno	28	0,17	0,13	0,22	13,55	0,43	0,37	0,52	8,31
Primavera	28	0,19	0,16	0,27	12,41	0,41	0,26	0,51	10,57
Janeiro	29	0,21	0,16	0,28	13,56	0,37	0,3	0,44	9,64
Fevereiro	29	0,23	0,18	0,29	10,18	0,35	0,25	0,42	11,59
Março	29	0,21	0,15	0,25	12,27	0,37	0,29	0,45	10,37
Abril	29	0,19	0,13	0,25	15,81	0,39	0,27	0,46	11,94
Mai	29	0,18	0,12	0,28	19,19	0,43	0,34	0,51	10,94
Junho	29	0,19	0,13	0,27	18,83	0,42	0,31	0,52	11,58
Julho	28	0,17	0,13	0,26	15,98	0,44	0,33	0,53	11,54
Agosto	28	0,17	0,11	0,27	20,45	0,43	0,28	0,53	10,73
Setembro	28	0,17	0,11	0,22	17,27	0,45	0,36	0,56	10,03
Outubro	28	0,17	0,11	0,23	16,57	0,45	0,37	0,55	9,47
Novembro	28	0,22	0,17	0,39	23,41	0,37	0,05	0,45	25,39
Dezembro	28	0,21	0,17	0,26	10,32	0,37	0,27	0,45	12,08

* Coeficiente de variação (CV) dos valores dos parâmetros a e b.

para os períodos verão e outono evidenciaram que a transmissividade da atmosfera é maior nos meses de inverno e primavera, devido à menor quantidade de poeira no ar e à frequente entrada de ar polar que apresentam menor turbulência em relação às massas tropicais (BLANCO & SENTELHAS, 2002). Os maiores valores de b ocorreram no inverno e os menores no verão (Tabela 3), devido também ao efeito da transmissividade atmosférica. BLANCO & SENTELHAS (2002), estimando os coeficientes a e b da equação de Angström-PreScott para o município de Piracicaba - SP, em um período de quatro anos (junho de 1996 a maio de 2000), utilizando dados de radiação solar e brilho solar, na escala anual, mensal e sazonal, encontraram valores anuais para $a=0,23$ e $b=0,50$, semelhantes ao encontrado no presente trabalho para o coeficiente a , que variou de 0,17 a 0,23. No entanto, diferiram do encontrado para o coeficiente b que variou de 0,35 a 0,45. Em estudo semelhante, considerando uma série de um ano (setembro de 1966 a agosto de 1967), OMETTO (1968) encontrou valores para a e b iguais a 0,26 e 0,51, respectivamente. DANTAS et al. (2003), estimando os coeficientes a e b para o estado de Minas Gerais, também encontraram valores para os coeficientes $a=0,23$ e $b=0,49$ semelhantes ao encontrado para o coeficiente a , mas diferindo dos valores encontrados para o coeficiente b , para o presente trabalho.

O valor médio anual do coeficiente a determinado no presente trabalho foi 11% menor que o encontrado por OMETTO (1968), enquanto que o valor médio do coeficiente b foi 18% e 20% menor do que o apresentado, respectivamente, por BLANCO & SENTELHAS (2002) e OMETTO (1968). Os valores de a e b obtidos para Telêmaco Borba são menores, e os resultados podem estar relacionados ao maior período de anos (30 anos) utilizados e à diferença entre os sensores que medem a R_s . Os resultados obtidos evidenciam as considerações de CARGNELUTTI FILHO et al. (2004), quando afirmam que há uma relação inversamente proporcional entre o tamanho da amostra utilizada (número de anos) com os coeficientes a e b , conseqüentemente, com a R_s .

Considerando os valores de R (Tabela 4), pode-se inferir que existe grande associação entre a R_s estimada com os coeficientes a e b (Tabela 3) e a R_s observada para o período estudado. O índice “ d ” de WILLMOTT et al. (1985), considerando a estimativa da R_s com os coeficientes a e b , foi de 0,95 para o período anual, variando de 0,92 a 0,95 ao longo do ano. Comparando-se os valores observados e estimados da R_s , as análises evidenciaram índices de desempenho “ c ” “ótimos” (“ c ” > 0,85) para os períodos anual, sazonal e mensal (Tabela 4), indicando precisão de estimativa dos valores de R_s . Aplicando-se os valores de a e b , obtidos nos períodos anual, sazonal e mensal

Tabela 4 - Coeficiente de correlação (R), índice “ d ” de Willmott et al. (1985) e índice “ c ” de Camargo & Sentelhas (1997), obtidos nas análises contrastando os valores observados e estimados de R_s , para uma série de 30 anos, para a região de Telêmaco Borba - PR.

Período	Série (anos)	R	“ d ”	“ c ”
		----- (adimensional) -----		
Anual	29	0,95	0,97	0,92
Verão	29	0,92	0,95	0,87
Outono	29	0,94	0,96	0,91
Inverno	29	0,95	0,97	0,91
Primavera	28	0,94	0,97	0,91
Janeiro	29	0,93	0,95	0,89
Fevereiro	29	0,92	0,93	0,86
Março	29	0,94	0,95	0,90
Abril	29	0,93	0,95	0,89
Maio	29	0,94	0,93	0,88
Junho	29	0,93	0,94	0,88
Julho	28	0,95	0,95	0,90
Agosto	28	0,95	0,95	0,90
Setembro	28	0,94	0,96	0,90
Outubro	28	0,95	0,96	0,92
Novembro	28	0,95	0,95	0,89
Dezembro	28	0,93	0,95	0,89

na equação de Angström-Prescott para a estimativa de R_s , pode-se afirmar estatisticamente que não houve diferença entre valores estimados e observados (PEREIRA et al., 2002; DORNELAS et al., 2006), sugerindo que os coeficientes a e b podem ser utilizados na estimativa da R_s , para o município de Telêmaco Borba.

CONCLUSÃO

O valor médio de K_{rs} (0,12) está abaixo do valor proposto pela bibliografia, provavelmente devido às diferenças entre os sensores que registram a R_s nas estações meteorológicas. Ocorre maior associação entre a R_s estimada e observada quando são utilizados valores de K_{rs} anual e sazonal, resultando em índices “ c ”, classificados de muito bom ($0,75 < “c” \leq 0,85$) a bom ($0,65 < “c” \leq 0,75$). Os coeficientes a e b apresentaram índices de desempenho “ c ”, classificados como “ótimo” (“ c ” > 0,85) para estimar a R_s de todos os períodos analisados. Os coeficientes encontrados para as equações de Angström-Prescott e Hargreaves-Samani podem ser utilizados com confiança para estimar valores de R_s na região de Telêmaco Borba-PR.

REFERÊNCIAS

- ALLEN R.G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 356p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ANGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.50, p.121-126, 1924. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.49705021008/abstract>>. Acesso em: 26 mar. 2012. doi: 10.1002/qj.49705021008.
- BLANCO, F.F.; SENTELHAS, P.C. Coeficientes da equação de Angström-Prescott para estimativa da insolação para Piracicaba. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, p.295-300, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000800011>>. Acesso em: 26 mar. 2012. doi: 10.1590/S1415-43662011000800011.
- BORGES V.P. et al. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.74-80, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n1/v14n01a10.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2012. doi: 10.1590/S1415-43662010000100010.
- CAMARGO, A.P. de; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.89-97, 1997.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de amostra para a estimativa das médias decendiais de radiação solar global no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1402-1410, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000500020>>. Acesso em: 26 mar. 2012. doi: 10.1590/S1413-70542007000500020.
- DANTAS, A. et al. Estimativa da radiação solar global para a região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, p.1260-1263, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542003000600008>>. Acesso em: 26 mar. 2012. doi: 10.1590/S1413-70542003000600008.
- DORNELAS, K.D.S. et al. Coeficientes médios da equação de Angström-Prescott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1213-1219, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000800001>>. Acesso em: 26 mar. 2012. doi: 10.1590/S0100-204X2006000800001.
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.108, p.225-230, 1982. Disponível em: <<http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?35047>>. Acesso em: 26 mar. 2012.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. 1v. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em: 03 set. 2012.
- LIMA, E.P. **Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, padrão FAO (1998), a partir de dados de temperaturas máxima e mínima de Minas Gerais**. 2005. 67f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, MG.
- OMETTO, A. **Estudo das relações entre radiação solar global, radiação líquida e insolação**. 1968. 64f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, SP.
- PEREIRA, A.B. et al. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.2, p.211-216, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000200002>>. Acesso em: 03 set. 2012.
- PODESTÁ, G.P. et al. Estimating daily solar radiation in the Argentine Pampas. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.123, p.41-53, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.11.002>>. Acesso em: 26 mar. 2012. doi: 10.1016/j.agrformet.2003.11.002.
- POLO, J. et al. A simple approach to the synthetic generation of solar irradiance time series with high temporal resolution. **Solar Energy**, v.85, p.1164-1170, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 30 out. 2012. doi:10.1016/j.solener.2011.03.011.
- PRESCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Transactions of the Royal Society Science Australian**, v.64, p.114-118, 1940.

SOUZA, J.D. et al. Estimativa da radiação solar global à superfície usando um modelo estocástico: caso sem nuvens. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.2, p.1-36, 2008. Disponível em: <sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/04.14.19.06v22008-04-16>. Acesso em: 26 mar. 2012.

WEISS, A.; HAYS, C.J. Simulation of daily solar irradiance. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.123, p.187-199, 2004.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.12.002>>. Acesso em 26 mar. 2012. doi: 10.1016/j.agrformet.2003.12.002.

WILLMOTT, C.J. et al. Climatology of terrestrial seasonal water cycle. **Internation Journal of Climatology**, v.5, p.589-606, 1985. Disponível em: <http://climate.geog.udel.edu/~climate/publication_html/Pdf/WRM_JClimatology_1985.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2012.