

APLICABILIDADE DE MODELOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL¹

SOLAR RADIATION ESTIMATION BASED ON THE INSOLATION

Francisco Neto de Assis², Sílvio Steinmetz³, Sérgio Roberto Martins⁴ e Marta Elena Gonzalez Mendez⁵

RESUMO

Uma série de dados diários de radiação solar global, medidos em piranômetro Eppley, foi utilizada para testar o modelo proposto por PEREIRA e VILLA NOVA (1997) que estima o potencial de radiação com base na medida do valor instantâneo ao meio-dia solar. O modelo permite também a determinação dos parâmetros da equação de PRESCOTT (1940) assumindo que $a = 0,29\cos\phi$. Os resultados demonstraram a validade do modelo para as condições estudadas. Simultaneamente foi analisada e confirmada a hipótese de se generalizar o uso da fórmula de estimativa da radiação, com base na insolação, na forma $K = K_0(0,29\cos\phi + 0,50n/N)$.

Palavras-chave: radiação solar, potencial de energia solar, modelagem

SUMMARY

A serie of dialy global solar radiation data measured by an Eppley piranometer was used to test PEREIRA and VILLA NOVA's (1997) model to estimate the potential of radiation based on the instantanous values measured at solar noon. The model also allows to estime the parameters of PRESCOTT's equation (1940) assuming $a = 0,29\cos\phi$. The results demonstrated the model's validity for the studied conditions. Simultaneously, the hipothesis of generalizing the use of the

¹ Trabalho realizado parcialmente com recursos do CNPq.

² Eng. Agr., Doutor, Prof. Titular, Bolsista do CNPq. Departamento de Fitotecnia, FAME/UFPel. Caixa Postal, 354, 96080-079 Pelotas, RS. E-mail: fnassis@ufpel.tche.br.

³ Eng. Agr., Doutor, Pesquisador da EMBRAPA-CPACT.

⁴ Eng. Agr., Doutor, Prof. Adjunto, Bolsista do CNPq. Departamento de Fitotecnia, FAME/UFPel.

⁵ Eng. Agr., Doutor, Prof. Titular. Departamento de Fitotecnia, FAME/UFPel.

radiation estimative formulas based on insolation, and using $K=K_0 (0,29\cos\varphi + 0,50n/N)$, was analysed and confirmed.

Key words: solar radiation, modeling, sunshine, potential solar radiation

INTRODUÇÃO

A radiação solar é a fonte de energia básica para os agroecossistemas haja vista a capacidade das plantas clorofiladas em aproveitá-la na transformação de CO_2 em biomassa. O aproveitamento da energia solar ocorre também, entre outras, na forma de fotoeletricidade e captura direta por coletores.

Qualquer que seja a forma de utilização, para desenhar, utilizar e avaliar os sistemas de captura, sempre será necessário o conhecimento da disponibilidade da energia solar. Mesmo assim, a densidade de estações medidoras é muito baixa no Brasil. Além disso, a maioria das estações meteorológicas brasileiras medem radiação solar em radiômetros do tipo actinógrafo com registro em diagramas de difícil integração, principalmente em dias com nebulosidade intermitente. Por esta razão, e também pelo fato de que mesmo o actinógrafo exige manutenção cuidadosa, o mais comum é medir-se a insolação e estimar a radiação com base no modelo preconizado por ÅNGSTRÖM (1924), modificado por PRESCOTT (1940), vastamente difundido a partir do final da década de quarenta por PENMAN (1948) e atualmente recomendado pela FAO (SMITH, 1991) para uso nas fórmulas de estimativa da evapotranspiração, como alternativa à medida da radiação.

No modelo original de ÅNGSTRÖM (1924) para estimar a radiação solar global, $K = K_i [a + (1-a) n/N]$, K_i seria a radiação solar incidente em um dia completamente limpo, “a” a proporção de radiação em dias completamente nublados, “n” a insolação registrada com heliógrafo e “N” a insolação máxima possível. O valor originalmente atribuído ao parâmetro “a” foi de 0,25. Segundo RIETVELD (1978) a principal objeção ao modelo original de Ångström deve-se ao fato de o valor de K_i variar significativamente em uma mesma localidade em função de pequenas mudanças nos teores de água e de poeiras na atmosfera.

PRESCOTT (1940) modificou a fórmula de Ångström com a substituição de K_i pelo valor de Angot, ou seja, o valor da radiação solar extra-terrestre (K_0), dando origem a conhecida expressão $K = K_0(a + b.n/N)$, com os parâmetros “a” e “b” obtidos por métodos estatísticos. Tal modelo é amplamente utilizado e recentemente a FAO (SMITH, 1991) recomendou que, na inexistência de dados para a determinação adequada, os parâmetros da equação poderiam ser a =

0,25 e $b = 0,50$, assumindo assim uma “transparência” da atmosfera de 0,75 em dias completamente sem nebulosidade, quando, teoricamente, n/N seria igual a unidade.

BLACK et al. (1954) aplicaram a expressão de PRESCOTT (1940) em cerca de trinta e dois locais entre os trópicos e as regiões polares e encontraram valores médios de $a = 0,23$ e $b = 0,48$. Verificaram que o coeficiente de regressão (b) era mais ou menos constante e o parâmetro “ a ” apresentava variação acentuada. Analisando dados de “ a ” e “ b ”, determinados em diversas partes do mundo, GLOVER e McCULLOCH (1958) propôs uma relação de dependência entre “ a ” e a latitude (φ) na forma: $a = 0,29\cos\varphi$ com “ b ” constante. RIBEIRO (1980) analisou dados de 83 estações meteorológicas brasileiras e determinou os parâmetros da fórmula de PRESCOTT (1940). Fez também a comparação entre os valores do coeficiente “ a ” obtidos pela forma comum (estatística) e pelo modelo de GLOVER e McCULLOCH (1958). A concordância foi muito boa até a latitude de 20°S . FRÉRE et al. (1975) propuseram uma relação entre os parâmetros “ a ” e “ b ” e a média anual da razão de insolação (n/N) após a análise de várias séries de dados de locais entre 50°N e 35°S . Tal relação foi utilizada por MOTA e BEIRSDORF (1977) em 96 localidades amplamente distribuídas pelo Brasil observando que o parâmetro “ a ” variou entre 0,17 e 0,31 e o parâmetro “ b ” entre 0,41 e 0,56. Ainda no Brasil a fórmula de PRESCOTT (1940) foi utilizada por CERVELINI et al. (1966), LOPES et al. (1971), OMETTO (1968), REIS et al. (1973), TUBELIS et al. (1977) e STEINMETZ (1996).

Uma das dificuldades encontradas na operacionalização da fórmula de PRESCOTT (1940) é que a determinação dos seus parâmetros requer uma série relativamente longa de dados medidos. Tendo em conta este aspecto, PEREIRA e VILLA NOVA (1997), considerando trabalho anterior de VILLA NOVA et al. (1978) propuseram estimar os parâmetros “ a ” e “ b ” com base apenas em algumas poucas medidas da densidade de fluxo de radiação ao meio-dia em condições de céu limpo. O objetivo do presente trabalho é avaliar o modelo de PEREIRA e VILLA NOVA (1997) para as condições de Pelotas, Rio Grande do Sul, bem como a viabilidade de se simplificar o modelo de PRESCOTT (1940) fixando-se o coeficiente de regressão b em 0,50.

MATERIAL E MÉTODOS

A hipótese básica do modelo proposto por PEREIRA e VILLA NOVA (1997) é que o total diário de radiação solar (K) pode ser avaliado com base apenas na medida da densidade de fluxo de radiação na passagem meridiana (meio-dia solar). Em um dia completamente sem nebulosidade este valor foi denominado de radiação solar máxima (K_{max}) ou potencial de radiação local. A relação

K_{max}/K_o , assim, representaria a soma dos parâmetros “a” e “b” da fórmula de PRESCOTT (1940) porque, nesta condição, a razão de insolação tende para a unidade ($n/N \cong 1$). Por conseguinte, dado que

$$\frac{K_{max}}{K_o} = a + b \quad (1)$$

e, tendo em conta a relação de GLOVER e McCULLOCH (1958), segundo a qual

$$a = 0,29 \cos j \quad (2)$$

$$b = \frac{K_{max}}{K_o} - 0,29 \cos j \quad (3)$$

A determinação de K_m , com base no valor instantâneo da densidade de fluxo de radiação na passagem meridiana (I_{12}), foi realizada pela seguinte expressão desenvolvida por aqueles autores:

$$K_{max} = \frac{K_o I_{12}}{J_o dr \cos Z_{12}} \quad (4)$$

onde K_o é a radiação solar extra-terrestre, J_o é a constante solar, dr a distância relativa Terra-Sol e Z_{12} o angulo zenital ao meio-dia solar.

O termo dr pode ser derivado, segundo McCULLOUG e PORTER (1971), com base apenas no dia do ano ($D = 1, 2, 3, \dots, 365$) como

$$dr = 1 + 0,0335 \cos\left(\frac{2pD}{365}\right) \quad (5)$$

O termo $\cos Z_{12}$ pode ser estimado por

$$\cos Z_{12} = \cos(d - j) \quad (6)$$

tendo em conta que na expressão geral do triângulo astronômico,

$$\cos Z = \sin d \sin j + \cos d \cos j \cos h \quad (7)$$

ao meio-dia, $h = 0$. d é a declinação solar, ϕ a latitude e h o angulo horário, todos em radianos.

Neste trabalho, K_o , em $MJ.m^{-2}$, foi obtida pela expressão

$$K_o = \frac{1440}{p} J_o dr \int_{T_n}^{T_p} \cos Z dT \quad (8)$$

onde T_n e T_p são os horários do nascer e pôr-do-Sol, cuja integração resulta em

$$K_o = 37,613dr(\text{sen } d \text{ sen } j h + \text{cos } d \text{ cos } j \text{ sen } h) \quad (9)$$

com o valor da constante solar (J_o) igual a $1367,42 \text{ W m}^{-2}$ (CROMMELYNCK e FICHOT (1997)).

A declinação solar (radianos) também pode ser obtida com base apenas no dia do ano (D) na forma

$$d = 0,4093 \text{sen} \left(\frac{2pD}{365} - 1,405 \right) \quad (10)$$

A insolação máxima possível N foi calculada por

$$N = 7,6394 \text{ arcos} (-\text{tan } d \text{ tan } j) \quad (11)$$

Para avaliar o modelo foram utilizados dados de radiação solar global medidos com piranômetro Eppley na Estação Agroclimatológica de Pelotas (latitude = $31^{\circ}52'S$, longitude = $52^{\circ}21'W$ e altitude 13m) do convênio UFPel/EMBRAPA. Dos registros disponíveis foram selecionados 100 dias, distribuídos ao longo de um ano, cujos diagramas, dada a forma suave da curva, caracterizavam dias completamente sem nebulosidade. Nos diagramas foram cotados os valores da densidade de fluxo de radiação ao meio dia solar (I_{12}) e o total diário de radiação.

Foi também comparado o resultado das estimativas de radiação global derivadas do modelo com aquelas obtidas pelo método convencional com parâmetros determinados por STEINMETZ (1996) utilizando uma série de medidas obtidas entre 1992 e 1993 em Pelotas, RS.

Para estudar a viabilidade de se simplificar o modelo de PRESCOTT (1940) para a forma $K = K_o(0,29\text{cos } \phi + 0,50nN)$, foram comparadas as estimativas da radiação solar global obtidas pelo fórmula convencional e pela proposta. Para tal foram utilizados os valores dos parâmetros “a” e “b” determinados por RIBEIRO (1980) com dados de 32 estações meteorológicas localizadas entre 3° e 32° de latitude sul. Os valores de n/N necessários foram simulados. Foram realizadas 1000 simulações⁶ do valor de n/N variando de 0 a 0,99.

Na comparação dos valores de K medidos e estimados foram considerados, além do coeficiente de determinação (r^2), o erro absoluto médio (EAM), o índice de concordância (C) propostos por WILMOTT et al. (1985) e o índice de desempenho (D) sugerido por CAMARGO e SENTELHAS (1995).

O erro máximo absoluto e o índice de concordância foram dados pelas expressões

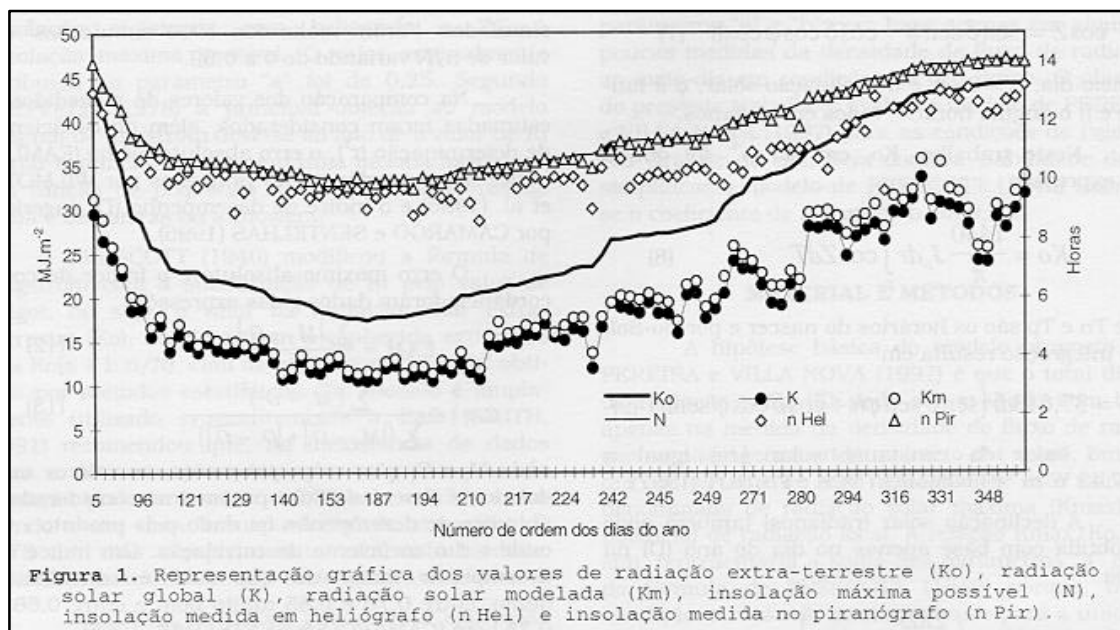
$$EAM = \frac{\sum |M_i - O_i|}{N} \quad (12)$$

$$C = 1 - \frac{\sum (M_i - O_i)^2}{\sum (|M_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (13)$$

onde M_i e O_i são, respectivamente, os valores modelados e observados dos parâmetros considerados. O índice de desempenho foi dado pelo produto $r.C$, onde r é o coeficiente de correlação. Um índice de desempenho maior do que 0,85 é considerado ótimo, entre 0,76 e 0,85 muito bom e entre 0,66 e 0,75 bom (CAMARGO & SENTELHAS, 1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão representados os valores de K_o , K , K_m , N , n e n Pir (insolação medida com piranômetro) dos 100 dias selecionados para o estudo. A análise dos totais diários de radiação medidos (K) e modelados (K_m) mostrou que mais de 99% da variação dos valores de K é explicada pelo modelo (Figura 2), com $EAM = 1,3MJ m^{-2}$, e desempenho ótimo ($D = 99,1\%$).



O valor médio da relação K_m/K_o foi de 0,703. Segundo as equações 2 e 3, então, para a latitude local ($-31,867^\circ$), $a = 0,246$ e $b = 0,457$. Estes valores dos parâmetros “a” e “b” diferem parcialmente daqueles ($a = 0,19$; $b = 0,50$) determinados por STEINMETZ (1996) com valores médios de n/N e K/K_o do período de 1992/94, mas são bem próximos dos sugeridos pela FAO ($a = 0,25$; $b = 0,50$), segundo SMITH, (1991), Tabela 1.

⁶ A simulação foi realizada com a função ALEATORIO()*0,99 do Excel

Aplicando o modelo $K = K_0 (0,246 + 0,457n/N)$ à série de dados utilizada por STEINMETZ (1996), representados na Figura 3, observa-se que o desempenho foi ótimo com EAM de $1,7 \text{ MJ m}^{-2}$ (Tabela 1).

Tabela 1. Desempenho dos modelos avaliados erro absoluto médio (EAM) em MJ m^{-2} , coeficiente de correlação (r^2) e índice de desempenho (D) aplicados a duas séries de dados.

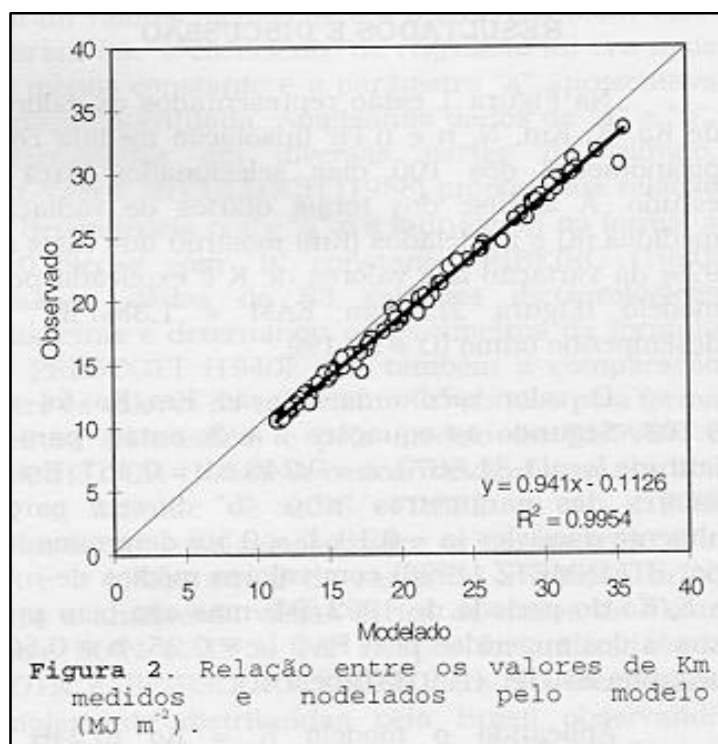
Modelos	Série de dias de céu claro			Série de dados de 1992/94		
	EAM	r^2	D	EAM	r^2	D
Dados originais	1,3	0,9954	0,9966			
$K=K_0(0,246+0,457n/N)$	1,4	0,9311	0,9439	1,7	0,8839	0,8990
$K=K_0(0,190+0,500n/N)$ ¹	1,5	0,9296	0,9390	1,3	0,8910	0,9161
$K=K_0(0,250+0,500n/N)$ ²	1,7	0,9308	0,9384	2,3	0,8861	0,8821
$K=K_0(0,246+0,500n/N)$ ³	1,6	0,9307	0,9396	2,2	0,8865	0,8855

¹ STEINMETZ (1996); ² FAO (SMITH, 1991); ³ Proposto

Inversamente, ou seja, aplicando o modelo de STEINMETZ (1996) à série de dias de céu claro, o resultado é apresentado na Tabela 1, onde se observa que o desempenho também é ótimo.

Alguns aspectos importantes surgem destes resultados: 1) O modelo proposto por PEREIRA e VILLA NOVA (1997) é satisfatório tanto para estimar o total diário de radiação quanto para estimar os parâmetros da fórmula de PRESCOTT (1940), nas condições estudadas. A sua performance, demonstrada pelos índices de concordância e de desempenho, bem como pelo relativamente baixo valor de EAM, foi também satisfatória quando aplicado a uma série independente de dados (Tabela 1); 2) A recomendação da FAO (SMITH, 1991) de se considerar $a = 0,25$ e $b = 0,50$, como valores preliminares médios na fórmula de Prescott aparentemente é validada com os dados analisados, uma vez que os parâmetros aqui estimados ($a = 0,246$ e $b = 0,457$) são bem próximos daqueles sugeridos pela FAO. Com efeito, aplicando-se a fórmula de Prescott aos dados de 92/93, com os parâmetros da FAO, o EAM foi de $2,3 \text{ MJ m}^{-2}$, com concordância de 94% e índice de desempenho de 89%; 3) O modelo de STEINMETZ (1996) reproduziu praticamente os mesmos resultados dos demais quando aplicado à série de dias de céu claro (Tabela 1)

Por conseguinte, é de se esperar que a fórmula de Prescott possa ser utilizada de forma generalizada no Brasil com coeficiente de regressão angular (b) igual a 0,50 e coeficiente linear (a) = $0,29 \cos \phi$. No intervalo de latitude do Brasil (aproximadamente entre 0 a 33°S), a fórmula de GLOVER e McCULLOCH (1958) dará como resultado valores entre 0,243 e 0,290 para o parâmetro “a”.



Para testar esta hipótese foram utilizados os valores de K estimados pela fórmula de Prescott com os valores dos parâmetros “a” e “b” determinados por RIBEIRO (1980) com dados de 32 estações meteorológicas localizadas entre 3° e 32° de latitude sul. Compararam-se, então estes valores com aqueles estimados com a mesma fórmula porém considerando **a = 0,29cosφ** e **b = 0,50**, com valores de n/N simulados. O resultado indicou (Figura 4 e Tabela 2) que, em 23 localidades, o desempenho foi superior a 85% (ótimo). Das nove, nas quais o índice de desenvolvimento variou entre 56% (sofrível) a 84% (bom), em oito, a soma de a+b foi inferior ou igual a 0,51. É muito pouco provável que a transmissividade atmosférica (K/Ko ou Km/Ko) atinja valores tão baixos quanto 0,51. É de se esperar, então, que naquelas localidades, os parâmetros “a” e “b”, apresentados por RIBEIRO (1980), contenham alguma incorreção. A propósito, o próprio autor levanta esta questão e atribui a inconsistência dos dados à causas tais como: 1) erros de medida devido a impossibilidade de calibração periódica do instrumento; 2) número insuficiente de dados para o adequado tratamento estatístico; 3) erros de cotação dos diagramas.

Os resultados aqui analisados permitem concluir que o modelo de PEREIRA e VILLA NOVA (1997) é adequado para as condições estudadas e que a radiação solar, nas condições brasileiras, pode ser estimada com base na fórmula de PRESCOTT (1940) na forma: $K = K_o(0,29\cos\phi + 0,50n/N)$.

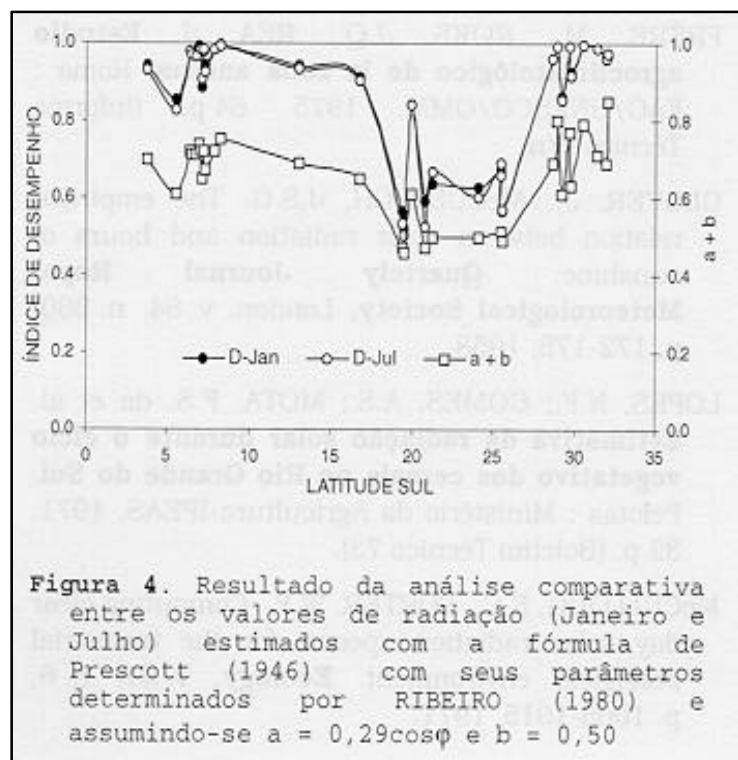
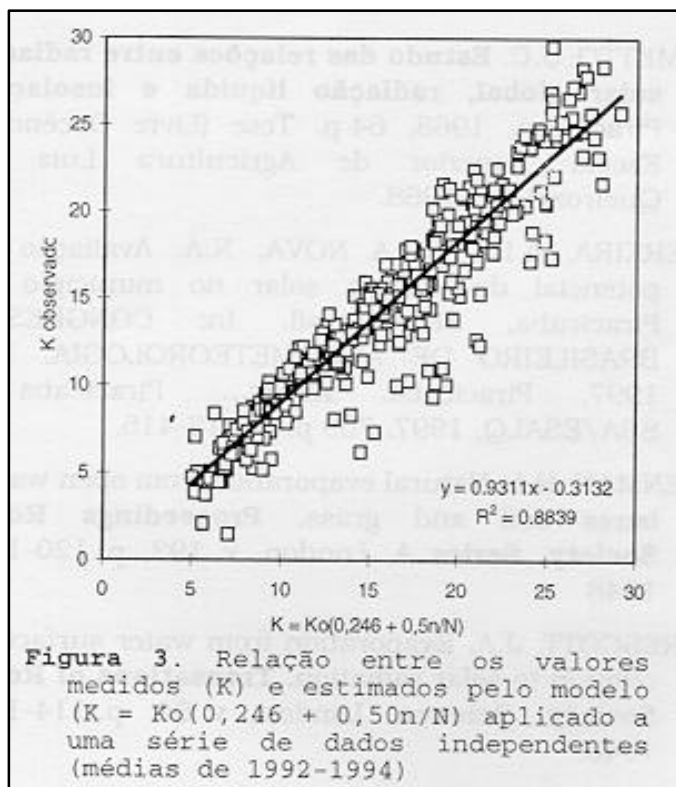


Tabela 2. Análise comparativa entre os valores de radiação estimados com a fórmula de PRESCOTT (1940) com seus parâmetros determinados por RIBEIRO (1980) e assumindo-se $a = 0,29\cos\phi$ e $b = 0,50$

Localidade	LAT (°)	RIBEIRO (1980)			a = 0,29cosLAT	Janeiro		Julho	
		a	b	a + b		D	EAM	D	EAM
Fortaleza, CE	3,72	0,239	0,460	0,70	0,289	0,942	2,6	0,928	2,3
Barra do Corda, MA	5,50	0,294	0,313	0,61	0,289	0,853	3,3	0,828	2,9
Brejo do Cruz, PB	6,35	0,300	0,417	0,72	0,288	0,979	1,2	0,977	0,9
Araruna, PB	6,50	0,296	0,409	0,71	0,288	0,971	1,5	0,967	1,3
Pombal, PB	6,77	0,286	0,424	0,71	0,288	0,971	1,4	0,966	1,4
Cajazeiras, PB	6,88	0,291	0,445	0,74	0,288	0,989	0,9	0,988	0,9
Patos, PB	7,03	0,293	0,430	0,72	0,288	0,985	1,3	0,983	0,9
João Pessoa, PB	7,12	0,267	0,385	0,65	0,288	0,883	3,0	0,905	2,4
Teixeira, PB	7,22	0,303	0,414	0,72	0,288	0,978	1,2	0,981	0,9
Mogeiro, PB	7,30	0,315	0,355	0,67	0,288	0,941	1,8	0,924	1,9
Monteiro, PB	7,88	0,302	0,419	0,72	0,287	0,982	1,2	0,983	1,0
Princesa Izabel, PB	8,28	0,282	0,465	0,75	0,287	0,994	0,8	0,991	0,7
Salvador, BA	13,02	0,239	0,455	0,69	0,283	0,943	2,5	0,934	2,0
Montes Claros, MG	16,72	0,263	0,387	0,65	0,278	0,909	2,7	0,902	2,0
Linhares, ES	19,40	0,241	0,233	0,47	0,274	0,565	7,1	0,535	4,2
Sete Lagoas, MG	19,47	0,244	0,220	0,46	0,273	0,521	6,8	0,503	4,5
Belo Horizonte, MG	19,93	0,238	0,368	0,61	0,273	0,840	4,1	0,839	2,7
Viçosa, MG	20,75	0,195	0,275	0,47	0,271	0,589	7,5	0,526	4,8
Lavras, MG	21,23	0,222	0,277	0,50	0,270	0,637	6,8	0,668	3,7
Guaira, PR	24,08	0,159	0,337	0,50	0,265	0,626	7,8	0,600	4,3
Curitiba, PR	25,43	0,173	0,335	0,51	0,262	0,674	7,5	0,691	3,8
Irati, RS	25,47	0,151	0,358	0,51	0,262	0,665	7,3	0,657	4,1
Foz do Iguaçu, PR	25,53	0,160	0,333	0,49	0,262	0,563	7,8	0,569	4,3
São Borja, RS	28,65	0,211	0,478	0,69	0,254	0,962	2,3	0,961	1,2
Veranópolis, RS	28,93	0,257	0,541	0,80	0,254	0,991	0,9	0,993	0,5
Júlio de Castilhos, RS	29,22	0,186	0,424	0,61	0,253	0,861	4,4	0,852	2,2
Osório Maquiné, RS	29,67	0,195	0,576	0,77	0,252	0,991	1,1	0,990	0,5
Uruguaiana, RS	29,75	0,246	0,385	0,63	0,252	0,924	2,5	0,917	1,3
Encruzilhada do Sul, RS	30,55	0,225	0,568	0,79	0,250	0,995	0,7	0,995	0,4
Bagé, RS	31,33	0,212	0,503	0,71	0,248	0,985	1,5	0,985	0,7
Pelotas, RS	31,87	0,190	0,500	0,69	0,246	0,963	2,4	0,959	1,1
Domingos Petrolini, RS	32,02	0,218	0,632	0,85	0,246	0,968	1,8	0,972	0,8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÅNGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quartely Journal Royal Meteorological Society**. London, v. 50, p. 121-126, 1924.
- BLACK, J.N., BONYTHON, C.W., PRESOTT, J.A. Solar radiation and the duration of sunshine. **Quartely Journal Royal Meteorological Society**, London, v. 80, n. 344, p. 231-235. 1954
- CAMARGO, A.P., SENTELHAS, P.C. **Avaliação de modelos para estimativa da evapotranspiração potencial mensal, em base diária para Campinas e Ribeirão Preto, S.P.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. **Resumos...**, Campina Grande : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. 505 p. p. 415-417.
- CERVELINI, A., SALATI, E., GODOY, H. Estimativa da distribuição da energia solar no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 25, n. 8, p. 31-40, 1966.
- CROMMELYNCK, D., FICHOT, A. **Solar constant temporal and frequency characteristics Royal meteorological institute of Belgium**, Bruxelas (<http://estirm2.oma.be/solarconstant/sarr/sarr.html>). 1997.
- FRÉRE, M., RIJKS, J.Q., REA, J. **Estudio agroclimatológico de la zona andina**. Roma : FAO/UNESCO/OMM, 1975. 64 p. (Informe Técnico s/n)
- GLOVER, J., McCULLOCH, J.S.G. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. **Quartely Journal Royal Meteorological Society**, London, v. 84, n. 360, p. 172-175, 1958.
- LOPES, N.F.; GOMES, A.S.; MOTA, F.S. da et al. **Estimativa da radiação solar durante o ciclo vegetativo dos cereais no Rio Grande do Sul**. Pelotas : Ministério da Agricultura-IPEAS, 1971. 32 p. (Boletim Técnico 73).
- McCULLOUG, E.C., PORTER, W.P. Computing clear day solar radiation spectra for the terrestrial ecological environment. **Ecology**, v. 51, n. 6, p. 1008-1015, 1971.

- OMETTO, J.C. **Estudo das relações entre radiação solar global, radiação líquida e insolação.** Piracicaba, 1968, 64 p. Tese (Livre Docência), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 1968.
- PEREIRA, A.B., VILLA NOVA, N.A. Avaliação do potencial de energia solar no município de Piracicaba, SP, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba : SBA/ESALQ, 1997. 759 p. p. 413-415.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bares soil and grass. **Proceedings Royal Society, Series A**, London, v. 193, p. 120-145, 1948
- PRESCOTT, J.A. Evaporation from water surface in relation to solar radiation. **Transations of Royal Society. Science**, London, v. 64, p. 114-125, 1940.
- REIS, A.C.S., COLEHO, T.J.F., ALVES, N.L.L. Estimativa da energia solar global na área do recife, baseada em registros de insolação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 8, n. 7, p. 177-179, 1973.
- RIBEIRO, A.M.A. **Estudo das relações entre radiação solar global (Qg) e razão de insolação (n/N), em algumas regiões do Brasil.** Piracicaba, SP, 1980, 88 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queirós”/USP. 1980.
- RIETVELD, M.R. A new method for estimating the regression coefficients in formula relating solar radiation to sunshine. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 19, n. 3, p. 243-253, 1978.
- SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements.** Rome : FAO, 1991. 45 p.
- STEINMETZ, S. **Estimativa dos parâmetros “a” e “b” da fórmula de estimativa da radiação solar com base na insolação.** Pelotas : Estação Agroclimatológica, 1996. (Não publicado).
- TUBELIS, A., NASCIMENTO, F.J.L, FOLONI, L.L. Radiação solar global e insolação em botucatu, SP. Médias mensais. **Botucatu Científica**, Botucatu, v. 2, n. 1, p. 25-34, 1977.
- VILLA NOVA, N.A., RIBEIRO, M.N.G., NOBRE, C.A. et al. Radiação solar em Manaus. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 8, n. 3, p. 417-421, 1978.
- WILMOTT, C.J., ACKLESON, S.G., DAVIES, R.E. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal geophysical Research**, v. 90, n. 5. p. 8998-9005, 1985.