

ESTIMATIVA DA IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL, PARA A REGIÃO DE CASCAVEL, COM PARTIÇÃO MENSAL

Autores

Melania Inês Valiati.

Email: melania@unioeste.br

Vínculo: Mestranda Eng. Agrícola UNIOESTE/Pr.

Endereço: Rua Universitário 2069, Bairro Universitário, CEP: 85814110

Telefone: 0xx45-225-2100 Ramal 233

Reinaldo Prandini Ricieri

Email: ricieri@unioeste.br

Vínculo: Professor Doutor do curso de Graduação e Mestrado em Eng. Agrícola

Endereço: Rua Universitário 2069, Bairro Universitário, CEP: 85814110

Telefone: 0xx45-225-2100 Ramal 233

Suedêmio de Lima Silva

Email: suedemio@unioeste.br

Vínculo: Professor Doutor do curso de Graduação e Mestrado em Eng. Agrícola

Endereço: Rua Universitário 2069, Bairro Universitário, CEP: 85814110

Telefone: 0xx45-225-2100 Ramal 229

Marlos Wander Grigoletto.

Email: grigoletto@ar-net.com.br

Vínculo: Professor Cefet/Medianeira, Mestrando Eng. Agrícola UNIOESTE/Pr

Endereço: Rua paraguai 2121, medianeira/Pr, cep 85884000 Rua Universitário 2069

Telefone: (0xx45)2642958

Welliam Chaves Monteiro da Silva.

Email: welliam@unioeste.br

Vínculo: Mestrando Eng. Agrícola UNIOESTE/Pr.

Endereço: Rua Universitário 2069, Bairro Universitário, CEP: 85814110

Telefone: 0xx45-225-2100 Ramal 233

Resumo

No presente trabalho mostra-se a razão da irradiação solar global pela irradiação no topo da atmosfera ($K_t = R_G/R_o$) na incidência horizontal, em função da razão de insolação (n/N), objetivando-se encontrar equações com partição mensal, para estimar a irradiação solar global diária. Os dados experimentais, com um período de 16 anos sendo, quatro anos utilizados para validação das equações, foram obtidos na ESTAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA DO IAPAR localizada na COODETEC/CASCAVEL/PR. As distribuições dos valores diários ($K_t \times n/N$) foram relacionadas por regressões lineares simples, obtendo-se as equações e seus respectivos coeficientes de determinação: Janeiro ($K_t = 0,19 + 0,33n/N$, $R^2 = 0,85$); Fevereiro ($K_t = 0,21 + 0,32n/N$, $R^2 = 0,82$); Março ($K_t = 0,18 + 0,36n/N$, $R^2 = 0,86$); Abril ($K_t = 0,16 + 0,37n/N$, $R^2 = 0,84$); Maio ($K_t = 0,14 + 0,42n/N$, $R^2 = 0,90$); Junho ($K_t = 0,16 + 0,41n/N$, $R^2 = 0,86$); Julho ($K_t = 0,14 + 0,44n/N$, $R^2 = 0,89$); Agosto ($K_t = 0,15 + 0,42n/N$, $R^2 = 0,88$); Setembro ($K_t = 0,14 + 0,43n/N$, $R^2 = 0,90$); Outubro ($K_t = 0,15 + 0,41n/N$, $R^2 = 0,88$); Novembro ($K_t = 0,16 + 0,38n/N$, $R^2 = 0,89$) e Dezembro ($K_t = 0,18 + 0,35n/N$, $R^2 = 0,87$). Em média obteve-se um erro de 3,38% para janeiro, -

0,08% para fevereiro, -1,09% para março, 2,98% para abril, -0,05% para maio, 0,85% para junho, -1,3% para julho, 0,41% para agosto, 2,68% para setembro, 1,48 para outubro, 2,85 para novembro, 2,23 para dezembro, mostrando que a irradiação solar global pode ser obtida com boa precisão.

Abstract

It is shown in this present work the reason of the global the solar irradiation by the irradiation on the top of the atmosfera ($K_t = R_G/R_o$) in the horizontal incidence, in function of the heatstroke reason (n/N), objectifying itself to find equations to estimate the daily global component, with monthly partition. The experimental data, with a 16 years-old period being 4 years used for validation of the equations, had been gotten in STAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA Of the IAPAR located in the COODETEC/CASCAVEL/PR. The distributions of the daily values (K_{tn}/N) had been related by simple linear regressions, getting the equations and its respective coefficients of determination that had been: January ($K_t = 0,19 + 0,33n/N$, $R^2 = 0,85$); February ($K_t = 0,21 + 0,32n/N$, $R^2 = 0,82$); March ($K_t = 0,18 + 0,3n/N$, $R^2 = 0,86$); April ($K_t = 0,16 + 0,37n/N$, $R^2 = 0,84$); May ($K_t = 0,14 + 0,42n/N$, $R^2 = 0,90$); June ($K_t = 0,16 + 0,41n/N$, $R^2 = 0,86$); July ($K_t = 0,14 + 0,44n/N$, $R^2 = 0,89$); August ($K_t = 0,15 + 0,42n/N$, $R^2 = 0,88$); September ($K_t = 0,14 + 0,43n/N$, $R^2 = 0,90$); October ($K_t = 0,15 + 0,41n/N$, $R^2 = 0,88$); November ($K_t = 0,16 + 0,38n/N$, $R^2 = 0,89$) and December ($K_t = 0,18 + 0,35n/N$, $R^2 = 0,87$). In average an error was gotten (Δ) of 3.38% for January, -0.08% for February, -1.09% for March, 2,98% for April, -0.05% for May, 0,85% for June, -1.3% for July, 0,41% for August, 2,68% for September, 1.48 for October, 2.85 for November, 2.23 for December, showing that global the solar irradiation can be gotten with good accuracy.

Palavras-Chaves

Irradiação solar global, modelo de Angstrom, índice de claridade.

1.INTRODUÇÃO

As novas técnicas de pesquisa na área agrária nos são apresentadas com uma rapidez muito grande e com excelente nível de precisão. A informática aplicada nestas pesquisas permite-nos trabalhar com um grande número de dados, processando-os diversas vezes e nos fornecendo resultados quase que instantâneos, o que permite uma redução considerável entre a coleta de dados e o resultado final, e por consequência a sua aplicabilidade. A radiação solar incidente na superfície terrestre, por exemplo, é de grande relevância para as áreas técnicas e agrárias permitindo a otimização de projetos e manejo de diversos cultivares. Com o avanço da informática podemos coletar, especialmente com os novos sistemas de aquisição de dados, processar e armazenar sinais emitidos por sensores com menos tempo e com maior precisão, que até pouco tempo eram realizados por registradores, o que ocasionava uma demora nas conclusões das pesquisas.

A radiação solar ao se propagar na atmosfera até incidir na superfície do solo passa pelos processos de espalhamento e absorção. Em consequência do processo de espalhamento, observa-se além da componente direta a radiação solar difusa, sendo a soma dessas duas componentes denominada de radiação solar global. Devido ao alto

custo dos instrumentos a medição das componentes da radiação solar, utilizando radiômetros, é ainda restrita nos centros de pesquisas, estações meteorológicas e Universidades brasileiras. Mediante as dificuldades instrumentais, vários pesquisadores vem desenvolvendo modelos estatísticos e matemáticos para estimar a irradiação solar global através de correlações de diversos parâmetros meteorológicos, geográficos, atmosféricos e astronômicos, por exemplo, temperatura, razão de insolação, latitude e outros que são mais facilmente metidos.

ANGSTROM (1924), foi o primeiro a propor um modelo estatístico para estimar a irradiação solar global na horizontal, através da seguinte equação:

$$R_G/R_C = \infty + (1 - \infty) n/N \quad (1)$$

onde: R_G = Irradiação solar global (MJ/m^2); R_C = Irradiação total em dias completamente limpos (MJ/m^2); ∞ = fração da radiação recebida em um dia completamente nublado pela medição em dia completamente limpo; n = Total de horas de brilho solar diário, obtido a partir de registros do heliógrafo; N = Número máximo de brilho solar no topo da atmosfera em um dia.

Para obter os coeficientes desta equação é necessário possuir dados da irradiação solar global em dias completamente limpos, o que não é sempre possível. No intuito de simplificar sua utilização, pesquisadores decidiram utilizar a irradiação no topo da atmosfera (R_0), que é calculada com facilidade. PRESCOTT (1940) foi o primeiro pesquisador a modificar a equação substituindo R_c por R_0 , denominada pelos pesquisadores de equação de Angstrom, ficando da seguinte forma:

$$R_G/R_0 = a + bn/N \quad (2)$$

Sendo, a e b os coeficientes de Angstrom, estes coeficientes dependem da latitude, altitude, tipo de nuvem e das condições atmosféricas. Devido a estas variáveis, vários pesquisadores vêm obtendo os coeficientes em diversas localidades como, por exemplo, MARTINES-LOSANO et al. (1984) que cobre praticamente todo o Território Nacional, OMETTO (1968) para Piracicaba, TUBELIS et al. (1976) e RICIEIRI et al. (1996) para Botucatu, LOPES et al. (1971) para Rio Grande do Sul, CRIVELLI (1973) para Argentina, e LEWIS (1983) para USA, entre outros.

Os coeficientes “ a ” e “ b ” da equação (2), são calculados mediante o uso de regressão linear utilizando-se dados diários mensais, sazonais, anuais e recentemente DAL PAI & ESCOBEDO, (1999) vem estudando a partição a cada 5 minutos.

Portanto, o estudo em questão tem o objetivo de relacionar a razão da irradiação solar global na incidência horizontal pela irradiação no topo da atmosfera, com a razão de insolação (n/N) para estimar a irradiação solar global diária para a região de Cascavel/PR.

2.MATERIAL E MÉTODOS

Os dados experimentais foram obtidos na ESTAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA DO IAPAR (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ) localizada na COODETEC/CASCAVEL-PR -COOPERATIVA CENTRAL AGROPECUÁRIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E ECONÔMICO LTDA, com

Latitude 24,89°S, Longitude 53,40°O e Altitude 682m, no período de janeiro de 1983 a dezembro de 1998. A irradiação solar global foi obtida por um actinógrafo e a hora de brilho solar (n) através de um heliógrafo (R. FUESS BERLIN-STEGUTZ).

Elaborou-se um programa em BASIC para calcular a hora do nascer e pôr do sol (N), declinação solar (δ), irradiância solar no topo da atmosfera (R_o), cosseno do ângulo zenital ($\cos z_t$) e a hora solar transformada em hora local. As equações de maior importância, utilizadas no programa, foram citadas por IQBAL (1983):

$$\delta = 23,45 \sin[360/365(284 + DJ)] \quad (3)$$

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (4)$$

$$R_o = 1367 E_o (\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos w_s) \quad (5)$$

$$\cos z_t = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos w_s \quad (6)$$

$$\Gamma = 2\pi(DJ - 1)/365,242 \quad (7)$$

$$E_o = 1,000110 + 0,034221 \cos \Gamma + 0,001280 \sin \Gamma + 0,000719 \cos 2\Gamma + 0,000077 \sin 2\Gamma \quad (8)$$

Onde:

δ = declinação solar;

DJ = dia juliano;

w_s = ângulo horário ao nascer do sol;

ϕ = latitude local; E_o = fator de correção da excentricidade da órbita terrestre;

R_o = irradiação solar no topo da atmosfera (MJ/m^2);

$\cos z_t$ = cosseno do ângulo zenital do Sol.

Da série de dados de 16 anos, 12 foram utilizados para cálculo dos parâmetros (a e b) da equação de Angstrom e 4 anos para validação dos modelos. Da série de 12 anos separaram-se os dados mensalmente, calculando-se os parâmetros “a” e “b” da equação de Angstrom através de regressão linear simples. Com valores de R_o e n/N estimou-se a irradiação solar global diária (R_{Gest}) e através do “software Microcal Origin” comparou-se a esta irradiação com a medida (R_{Gmed}), o erro médio foi obtido pela equação:

$$\Delta(\%) = 100 * ((R_{\text{Gmed}} - R_{\text{Gest}}) / R_{\text{Gmed}}) \quad (9)$$

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra os coeficientes de Angstrom e seus respectivos coeficientes de determinação, com valor médio de 0,85, mostrando que a irradiação solar global pode ser obtida com boa precisão. Observa-se um melhor ajuste nos meses de maio e setembro e o pior para o mês fevereiro.

Meses	Euações	R ²	Meses	Euações	R ²
Janeiro	$K_t=0,19+0,33n/N$	0,85	Julho	$K_t=0,14+0,44n/N$	0,89
Fevereiro	$K_t=0,21+0,32n/N$	0,82	Agosto	$K_t=0,15+0,42n/N$	0,88
Março	$K_t=0,18+0,36n/N$	0,84	Setembro	$K_t=0,14+0,43n/N$	0,90
Abril	$K_t=0,16+0,37n/N$	0,84	Outubro	$K_t=0,15+0,41n/N$	0,88
Maio	$K_t=0,14+0,42n/N$	0,90	Novembro	$K_t=0,16+0,38n/N$	0,89
Junho	$K_t=0,16+0,41n/N$	0,86	Dezembro	$K_t=0,18+0,35n/N$	0,87

Tabela 1- Equações mensais de Angstrom e seus respectivos coeficientes de determinação (R²)

Nas equações da tabela 1, quando a razão de insolação tende a zero o índice de claridade aproxima do valor mínimo (K_{tmin}) e tendendo a 1 o índice de claridade aproxima do valor máximo (K_{tmax}). O estudo de limite para cada mês é mostrado na tabela 2, na qual observamos que na superfície terrestre local a radiação incidente, em um ano, está compreendida entre 14% a 58% da radiação incidente no topo da atmosfera.

Meses	K _{tmin}	K _{tmax}	Meses	K _{tmin}	K _{tmax}
Janeiro	0,19	0,52	Julho	0,14	0,58
Fevereiro	0,21	0,53	Agosto	0,15	0,57
Março	0,18	0,54	Setembro	0,14	0,57
Abril	0,16	0,53	Outubro	0,15	0,56
Maio	0,14	0,56	Novembro	0,16	0,54
Junho	0,16	0,57	Dezembro	0,18	0,53

Tabela 2 - Índices de claridade mínimos e máximos para dados estimados pela equação de Angstrom

Na validação dos modelos, obteve-se um erro médio de: 3,38% em janeiro; 0,08% em fevereiro; -1,09% em março; 2,98% em abril; -0,05% em maio; 0,85% em junho; -1,3% em julho; 0,41% em agosto; 2,68 % em setembro; 1,48% em outubro; 2,85% em novembro e 2,23% em dezembro. Pode-se observar através dos valores positivos e negativos que o modelo superestima a irradiação solar global para os meses de janeiro, fevereiro, abril, junho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro e superestima para março, maio e julho. Os baixos valores dos erros médios e os coeficientes de determinação para todos os meses do ano mostram, que o modelo de Angstrom, com partição mensal é, satisfatório na estimativa da irradiação solar global diária para região de Cascavel/PR.

4.CONCLUSÕES

Estatisticamente, a irradiação solar global diária poder ser estimada, na região de Cascavel/PR, com boa precisão pelo modelo de Angstrom.

O modelo possui uma tendência em superestimar a irradiação solar global.

5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ANGSTROM, A. Solar and terrestrial radiation *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 50, p.121-125. 1924.
- CRIVELLI, S. Solar radiation and solar energy in Argentina.*Proc. Congr. The Sun in the Service of Mankind*. UNESCO. Paris, 1973
- DAL PAI, A., ESCOBEDO, F. J. Modelo de estimativa da radiação solar difusa instantânea. *Anais: I Simpósio em Energia na Agricultura*, Botucatu: UNESP/FCA. Gráfica e Editora Tiponic. v.2. p. 312-17, São Paulo, 1999.
- IQBAL, M. *An introduction to solar radiation*. Ed. Academic Press. New York, New York, p.387, 1983.
- LEWIS, G. Estimates of irradiance over Zimbabwe. *Solar Energy*, Nº 31 p.609-12, 1983
- LOPES, N.F.; GOMES, A.S.; MOTTA, F.S.; GARCET, J.R.B.; GOEDERT, C.O.; BORNG, J. Estimativa da radiação solar durante o ciclo vegetativo dos cereais no Rio Grande do Sul. Pelotas. Instituto de Pesquisa Agropecuária do Sul, *Boletim Técnico*, 73. p. 32, 1971.
- MARTINEZ-LOZANO, A.A., TNA, F. ONRUBIA, J.E., DE LA RUBIA, J. The Historical evolution of the Ångström fórmula and its modifications: review e bibliography. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.33, p.109-128, 1984.
- OMETTO, J.C. *Estudo das relações entre radiação solar global, radiação líquida e insolação*. Tese – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros/USP, Piracicaba, p. 64, 1968.
- PRESCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation *Trans. R. Soc. Sci. Aust.*, 64: 114-125, 1940.
- RICIERI, P. R., ESCOBEDO, F. J., MARTINS, D. Relações das radiações solar difusa e global em Botucatu *Anais: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, IX, 1996, Campos do Jordão. Os benefícios das modernas técnicas de previsão de tempo e clima para as atividades sócioeconômicas. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de meteorologia, p. 547-50, 1996.
- TUBELIS, A. et al. Estimativa da Radiação solar global diária em Botucatu- SP, à partir da insolação diária. *Botucatu Cient*, nº.26, p.53-60, 1976.

6. AGRADECIMENTO:

Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) Área de Ecofisiologia.