

Irradiação global, direta e difusa, para a região de Cascavel, Estado do Paraná

Patricia Aparecida de Oliveira Drechmer* e Reinaldo Prandini Ricieri

Programa de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), Rua Recife, 2633, apto 14, 85807-060, Coqueiral, Cascavel, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: pati.drechmer@gmail.com

RESUMO. O presente trabalho apresenta um estudo sobre os níveis das irradiações global, direta e difusa incidentes na superfície terrestre, a irradiação incidente no topo da atmosfera e a insolação relativa mensal, para a cidade de Cascavel-PR. As componentes da radiação solar foram monitoradas entre janeiro de 2001 e fevereiro de 2003 na Estação Experimental Agrometeorológica da Unioeste, Cascavel, Estado do Paraná. Na medição da radiação global foi utilizado um piranômetro KIPP & ZONEN-CM3 e para medir a componente direta foi utilizado um pireliômetro EPPLEY-NIP acoplado a um rastreador solar. A radiação difusa foi calculada pela diferença entre as radiações global e direta. Os níveis médios mensais das irradiações global, direta e difusa, foram respectivamente, 51,8%, 31,7% e 20,17% da irradiação incidente no topo da atmosfera. O índice de insolação relativa apresentou valor máximo em agosto (61,43%) e mínimo em fevereiro (34,35%), períodos caracterizados respectivamente por dias de céu limpo e nublados no hemisfério sul.

Palavras-chave: radiação solar global, radiação difusa, radiação direta.

ABSTRACT. Global, direct and diffuse irradiation in the region of Cascavel, Paraná State. This paper reports a study about the diffuse, direct and global radiation levels on surface of earth, the irradiation over the top of atmosphere and the monthly relative sunstroke in the city of Cascavel, State of Paraná, southern Brazil. The solar radiation components were monitored from January, 2001 to February, 2003 at Estação Experimental Agrometeorológica of Unioeste, Cascavel, Parana State. Global radiation was monitored by a pyranometer KIPP & ZONEN-CM3 and direct radiation was monitored by a pyrliometer EPPLEY-NIP coupled to a solar tracer. The diffuse radiation was monitored through the difference between global and direct radiation. Monthly average levels of global, direct and diffuse irradiations were 51.8%, 31.7% and 20.17% of the irradiation in the top of atmosphere. The relative isolation index showed the maximum value in August (61.43%) and the minimum in February (34.35%). These periods were characterized by clear and cloudy days, respectively, in the southern hemisphere.

Key words: global solar radiation, diffuse radiation, direct radiation.

Introdução

A radiação solar que incide sobre a superfície terrestre é, entre outros, um dos fatores determinantes da produção agrícola. Pelo fato deste recurso não ser controlado na natureza, torna-se evidente o interesse pelo maior conhecimento deste elemento meteorológico, uma vez que o mesmo é essencial na escolha adequada de culturas capazes de melhor se adaptarem às condições de cada região.

A eficiência da utilização da radiação solar pode ser computada comparando-se o valor em calorías da matéria orgânica produzida por unidade de área cultivada com a radiação incidente na mesma área, durante o mesmo período. Segundo Mota (1977), uma cultura comum converte cerca de 1% da radiação solar que recebe em matéria orgânica.

Didonet *et al.* (2004) verificaram a relação entre a incidência da radiação solar e o rendimento dos grãos no estudo de três variedades de milho híbrido e observaram que produtividades elevadas somente podem ser obtidas com alto nível de radiação incidente durante todo o ciclo da cultura, desde que nenhum outro fator seja limitante. A redução de 40 a 50% do rendimento de grãos na cultura de milho foi verificada por Fischer e Palmer (1994), citados por Fancelli (2000), quando a radiação incidente sofreu um decréscimo de 50% no período compreendido entre 15 dias antes e 15 dias depois da fase de florescimento.

Segundo Mota (1977), a radiação que incide na superfície horizontal é constituída de uma componente direta, que não sofre influência da

massa ótica e incide na forma de feixes de raios solares paralelos, e uma componente difusa, resultante da interação da radiação solar com gases e partículas existentes na atmosfera. A soma dessas duas componentes é denominada de radiação solar global.

A radiação global incidente na superfície terrestre é, em geral, medida por um piranômetro posicionado horizontalmente em uma superfície horizontal. A radiação direta é medida utilizando um pireliômetro acoplado a um rastreador solar. Este sistema captura a radiação incidente sob um ângulo de 90° em relação ao sensor, sendo necessário projetar esta radiação no plano horizontal através da multiplicação pelo cosseno do ângulo zenital.

As irradiações global e direta podem ser calculadas através da integração das curvas de irradiância nas partições de tempo desejável. A irradiação difusa (I_d), em MJ/m², pode ser calculada pela diferença entre as irradiações global (I_G), em MJ/m², e direta normal (I_{DN}) projetada no plano horizontal, em MJ/m², utilizando a fórmula:

$$I_d = I_G - I_{DN} \cos Z \quad (1)$$

em que Z é o ângulo zenital do sol, em graus.

Por utilizar um sistema de acompanhamento do sol, este método é considerado razoavelmente preciso, sendo considerado como método padrão, pois as variações da massa ótica não interferem significativamente nas medidas (Iqbal, 1983), porém, sua utilização é restrita em função dos custos dos equipamentos e da manutenção operacional diária do rastreador solar, sendo ainda inédita no estado do Paraná.

Face a essa realidade, este estudo tem como objetivo caracterizar os níveis das irradiações global, direta e difusa incidentes na superfície terrestre, a irradiação incidente no topo da atmosfera e a insolação relativa mensal, para a cidade de Cascavel, Estado do Paraná.

Material e métodos

Os dados foram colhidos e cedidos pela Estação Experimental Agrometeorológica de Cascavel (Unioeste), Estado do Paraná, que coleta os níveis diários da radiação direta, global e difusa pelo método padrão e pelo método do anel de sombreamento. A Estação situa-se no Campus de Cascavel, com coordenadas 24°53' latitude Sul, 53°23' longitude Oeste e altitude 682 m.

Os dados foram obtidos diariamente, das 8 às 17 horas, no período de 03 de janeiro a 31 de dezembro

de 2001.

A radiação global foi monitorada por um piranômetro KIPP&ZONEN – CM3¹, com constante de calibração igual a 18,99 $\mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$, posicionado em um plano horizontal.

A radiação direta é monitorada na incidência normal por um pireliômetro EPPLEY-NIP¹, com constante de calibração igual a 8,4 $\mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$, acoplado a um rastreador solar EPPLEY modelo ST-1¹, fixo na direção norte-sul e ajustado à latitude local.

A radiação difusa foi obtida pela diferença entre a radiação global e direta, projetada na horizontal, através da equação (1), para cada ponto.

O total de horas de brilho solar diário incidente na superfície da Terra foi obtido por heliógrafo WILH LAMBRECHT KG GÖTTINGEN do tipo 1603¹.

A insolação relativa foi obtida através da razão entre o número de horas de brilho solar na superfície da Terra (n) e o número máximo de brilho solar no topo da atmosfera (N), em horas, pela equação:

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

A irradiação incidente na superfície da terra, em kJ/m²h, foi obtida pela matematicamente pela equação:

$$R_0 = 1367 E_0 (\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos w_s) \quad (3)$$

em que:

ϕ é a latitude local, em graus;

δ é a declinação solar, em graus;

w_s é o ângulo horário ao nascer do sol, em graus;

E_0 é o fator de correção da excentricidade da terra, que é calculado pela expressão abaixo:

$$E_0 = 1,00011 + 0,034221 \cos \Gamma + 0,001280 \sin \Gamma + 0,000719 \cos 2\Gamma + 0,000077 \sin 2\Gamma \quad (4)$$

onde Γ é chamado de ângulo diário, expresso em radianos, representado por:

$$\Gamma = \frac{2\pi(d_n - 1)}{365}$$

em que d_n é o dia juliano.

Para a aquisição dos dados, foi utilizado um

¹As citações de marcas comerciais dos instrumentos utilizados não implicam em recomendação de uso pelo autor.

sistema de aquisição de dados “micrologger” da CAMPBELL SCIENTIFIC-INC CR10X¹, programado para realizar uma leitura por segundo e armazenar a média aritmética a cada cinco minutos dos dados das componentes da radiação solar global, direta e difusa no plano horizontal.

Resultados e discussões

Na Figura 1 estão representados as médias diárias mensais das irradiações global (R_G), direta (R_D) e difusa padrão (R_d), assim como a irradiação incidente no topo da atmosfera (R_o), obtidas a partir da média de todos os dias dos respectivos meses de 2001, verificadas na cidade de Cascavel.

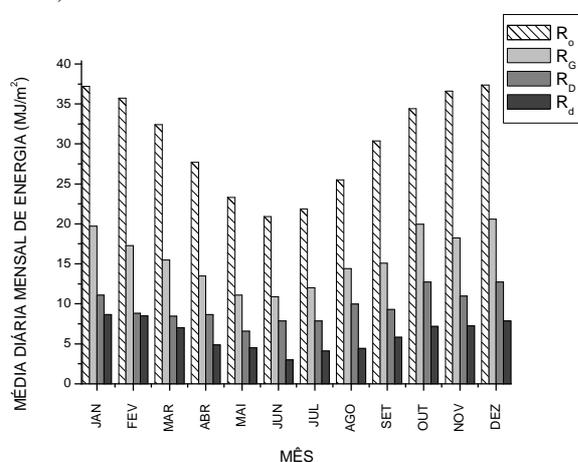


Figura 1. Média diária mensal das irradiações global (R_G), direta projetada no plano horizontal (R_D), difusa padrão (R_d) e irradiação incidente no topo da atmosfera (R_o), entre janeiro a dezembro de 2001.

De acordo com o gráfico, é possível verificar que os índices da irradiação solar incidente no topo da atmosfera são variáveis ao decorrer do ano. Entre o equinócio de outono (março) e o equinócio de primavera (setembro), a irradiação incidente na superfície da terra é menor que a irradiação incidente no período compreendido entre o equinócio de primavera e o equinócio de outono. Esta variação está diretamente relacionada à declinação solar, que é o ângulo formado entre a linha que une o sol ao centro da Terra, e a linha que une o centro da Terra ao seu plano equatorial. Nos equinócios, o ângulo de declinação solar é zero, o que justifica o fato do dia e da noite terem a mesma duração. Já nos solstícios de verão e inverno, a declinação tem valores aproximadamente $23 \frac{1}{2}^\circ$ e $-23 \frac{1}{2}^\circ$, respectivamente, o que justifica as diferenças de incidência da irradiação no topo da atmosfera. A irradiação incidente no topo da

atmosfera apresentou como limites: mínimo de $20,93 \text{ MJ/m}^2$, verificado no mês de junho e máximo de $37,40 \text{ MJ/m}^2$, verificado no mês de dezembro. Ao comparar os resultados com os obtidos por Ricieri (1998) para a cidade de Botucatu, Estado de São Paulo, localizada na latitude de $22^\circ 54'S$, foram encontrados valores muito próximos: irradiação mínima em junho ($21,68 \text{ MJ/m}^2$) e máxima em dezembro ($37,15 \text{ MJ/m}^2$).

Os comportamentos das radiações global e difusa acompanham, em média, a irradiação incidente no topo da atmosfera: os maiores índices são verificados nos meses de verão, enquanto os menores índices são verificados nos meses de inverno. A irradiação global apresentou como limites: mínimo de $10,86 \text{ MJ/m}^2$ e máximo de $20,58 \text{ MJ/m}^2$, verificados nos meses de junho e dezembro, respectivamente. A irradiação difusa apresentou como limites: mínimo de $3,00 \text{ MJ/m}^2$ e máximo de $8,67 \text{ MJ/m}^2$ para junho e janeiro, respectivamente. A irradiação direta na incidência normal apresentou como limites: mínimo de $6,59 \text{ MJ/m}^2$ e máximo de $12,75 \text{ MJ/m}^2$ para maio e outubro, respectivamente.

A irradiação global medida em Cascavel, Estado do Paraná apresenta comportamentos semelhantes aos encontrados em Botucatu: $11,01 \text{ MJ/m}^2$ (junho) e $20,48 \text{ MJ/m}^2$ (dezembro). Isso ocorre porque a radiação global, ou seja, a parcela da radiação incidente sobre a atmosfera que atinge a superfície, é relacionada à latitude local. Sendo as latitudes das duas cidades relativamente próximas entre si, a soma das irradiações direta e difusa (irradiação global) de cada localidade tende a apresentar valores próximos, além de apresentarem os níveis mínimos e máximos em meses coincidentes.

As duas cidades estudadas apresentam níveis mínimos da irradiação difusa em junho e máximos em janeiro, o que comprova que os invernos no hemisfério sul são caracterizados por dias de céu claro, enquanto os verões são marcados por dias nublados. Entretanto, os níveis da irradiação solar difusa verificados na cidade de Botucatu, Estado de São Paulo, foram inferiores aos de Cascavel, Estado do Paraná, em junho ($2,08 \text{ MJ/m}^2$) e superiores em janeiro ($10,15 \text{ MJ/m}^2$), o que pode sugerir que Botucatu apresenta invernos mais secos e verões mais úmidos que a cidade de Cascavel.

Os níveis mínimos e máximos da irradiação direta verificados para a cidade de Botucatu, foram $6,95 \text{ MJ/m}^2$ (janeiro) e $20,05 \text{ MJ/m}^2$ (julho), respectivamente. Apesar dos níveis mínimos encontrados nas duas cidades serem muito próximos entre si, eles ocorrem em períodos diferentes. Os níveis máximos discordam em valor e período. Isso

pode ter ocorrido devido a variações climáticas ocorridas no ano estudado. Para realizar um estudo que caracterize e compare o comportamento da radiação solar nas cidades estudadas deveria-se levar em consideração uma série de dados de vários anos, o que não foi feito.

A Figura 2 apresenta as razões entre as médias mensais das irradiações global, direta e difusa obtida pelo método padrão com a irradiação incidente no topo da atmosfera. As variações encontradas entre as médias mensais das razões estudadas ocorrem devido à declinação solar e a nebulosidade.

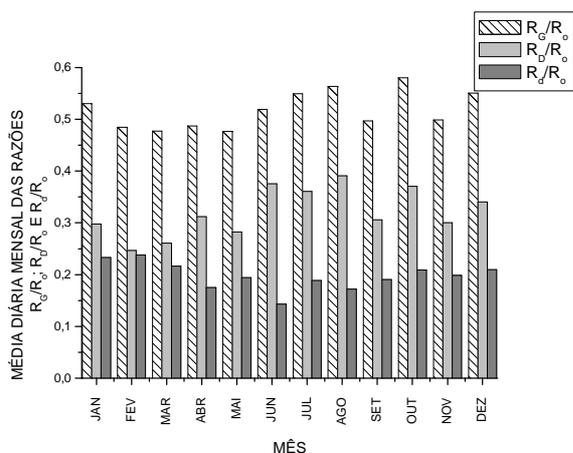


Figura 2. Médias diárias mensais das razões da irradiação global, direta e difusa pela irradiação incidente no topo da atmosfera.

Os índices médios encontrados para a R_g/R_o , R_d/R_o e R_f/R_o foram, respectivamente, 51,89%; 32,72% e 20,17%. Ao relacionar a média mensal da irradiação global com a irradiação incidente no topo da atmosfera, verificou-se que mais de 50% da radiação que incidiu no topo da atmosfera atingiu a superfície terrestre. A razão $R_g/R_o = 51,89\%$ define a transmissividade atmosférica média do local; $R_d/R_o = 32,72\%$ está relacionado à transmissividade efetiva e $R_f/R_o = 20,17\%$ está relacionado à difusão da atmosfera nesta localidade. Para o período em que a declinação do sol ocorreu no hemisfério norte, período caracterizado por elevado número de dias de dias de céu claro, a irradiação difusa atingiu os menores valores enquanto a irradiação direta atingiu valores maiores. Para os períodos em que o sol declinou no hemisfério sul, quando é verificado um período de alta nebulosidade, a irradiação difusa é elevada enquanto a irradiação direta é mais baixa.

Na Figura 3 está representada a insolação relativa mensal. O mês de fevereiro apresentou o menor índice de insolação relativa, seguido por janeiro e novembro: 34,35%, 38,40% e 38,80%, respectivamente. O período foi caracterizado pela

alta nebulosidade e elevados índices da radiação difusa (R_d), que atingiu seu valor máximo em fevereiro, chegando a atingir 49,1% da radiação incidente na superfície terrestre. Quando a insolação relativa tende a um, o céu é denominado limpo. O mês de agosto apresentou maior índice de insolação relativa, seguido por junho e julho: 61,43%, 55,74% e 53,34%, respectivamente. Este período foi caracterizado por dias de céu limpo e baixos índices da radiação difusa, sendo o menor índice registrado no mês de junho, quando atingiu 27,6% da radiação incidente na superfície.

O mesmo é verificado para a cidade de Botucatu: menores índices de insolação relativa nos meses de verão e maiores índices nos meses de inverno, o que também se justifica pela declinação solar: o inverno é caracterizado por dias de céu claro e, portanto, altos níveis de insolação relativa, enquanto que no verão ocorre o contrário, em todo o hemisfério sul.

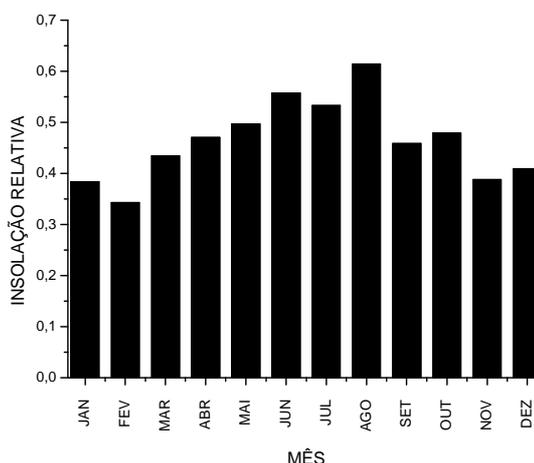


Figura 3. Médias mensais da insolação relativa.

Conclusão

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

O nível médio mensal das irradiações global, direta na incidência e difusa verificadas na cidade de Cascavel foram, respectivamente, 51,8%, 31,7% e 20,17% da radiação incidente no topo da atmosfera. Os limites mínimos para essas componentes foram 10,86 MJ/m², 3 MJ/m² e 6,59 MJ/m², enquanto os limites máximo foram 20,58 MJ/m², 8,67 MJ/m² e 12,75 MJ/m², respectivamente.

O índice de insolação relativa apresentou valores máximos e mínimos para agosto (61,43%) e fevereiro de 2001, (34,35%).

A radiação direta acompanha o comportamento do índice de insolação relativa: o valor máximo registrado no mês de julho, enquanto o valor

mínimo foi registrado no mês de fevereiro de 2001 (73% e 51% da radiação incidente na superfície da terra, respectivamente).

A radiação difusa apresenta comportamento inverso ao da radiação direta: os maiores valores são verificados em fevereiro, atingindo 49,1% da radiação incidente, enquanto o menor índice da radiação foi verificado em junho, quando atingiu 27,6% da radiação incidente na superfície.

Referencias

DIDONET, A.D. *et al.* Taxa de crescimento de grãos e radiação solar global incidente em cinco épocas de plantio de milho. 1988. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/agromet.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2004.

FANCELLI, A.L. Fisiologia da produção e aspectos

básicos de manejo para alto rendimento. *In*: SANDINI, I.; FANCELLI, A.L. (Ed.). *Milho: estratégias de manejo para a região Sul*. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2000. p. 103-116.

IQBAL, M. *An introduction to solar radiation*. Vancouver, Canada: Academic Press, 1983.

MOTA, F.S. *Meteorologia agrícola*. São Paulo: Nobel, 1977.

RICIERI, R.P. *Modelos de estimativa e avaliação dos métodos de medida da radiação solar difusa*. 1998. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Botucatu, 1998.

Received on December 13, 2005.

Accepted on April 17, 2006.