

ESTIMAÇÃO DO GANHO ADICIONAL DE RADIAÇÃO SOLAR DIRETA, EM UMA SUPERFÍCIE HORIZONTAL PLANA, EM VIÇOSA-MG, PELO USO DE REFLETORES SOLARES

Cláudia Regina Barbosa da Matta; Adil Rainier Alves; Juarez de Souza e Silva e
Hélio Alves Vieira

Universidade Federal de Viçosa - M.G.
Departamento de Engenharia Agrícola

RESUMO

A utilização de refletores solares em conjunto com coletores permite um aumento da concentração dos raios solares na superfície coletora e conseqüentemente um aumento da irradiância solar "direta". Desta forma, torna-se possível a obtenção de temperaturas mais elevadas no coletor, aumentando significativamente seu rendimento. Desenvolveu-se neste trabalho, uma metodologia que permitiu estimar o ganho adicional de radiação solar direta, em uma superfície coletora, para a localidade de Viçosa-M.G. ($\phi=20^{\circ}45'S$), pelo uso de refletores planos.

INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia solar através do uso de coletores solares apresenta-se de forma viável especificamente para o estado de Minas Gerais, que é climaticamente caracterizado por invernos ensolarados. Tais condições são propícias à conversão de energia solar em calor útil. Contudo, a baixa densidade do fluxo de radiação solar impede a sua utilização direta em operações que envolvam temperaturas mais elevadas. Para tanto, torna-se necessária sua concentração a fim de aumentar a incidência de radiação solar em superfícies coletoras. Este aumento pode ser verificado quando utilizam-se refletores em conjunto com coletores solares. A contribuição do refletor é determinada mediante o conhecimento da irradiância solar associada aos raios que chegam diretamente do Sol e da irradiância solar refletida em função do uso de refletores solares. Para tanto, torna-se necessário conhecer o ângulo formado entre o feixe de radiação e a normal à superfície receptora e o coeficiente de reflexão do refletor.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um método analítico que permita estimar quantitativamente o ganho de radiação solar direta, em uma superfície horizontal plana, para as condições de Viçosa-M.G., pelo uso de refletores solares planos

METODOLOGIA

Definiu-se inicialmente vetores unitários representando a posição do Sol num dado instante (\hat{u}_s) e unitários normais às superfícies em questão (\hat{u}_n e \hat{u}_{n1}). O vetor \hat{u}_s foi definido como:

$$\hat{u}_s = (-\text{sen } z \text{ sen } a) \hat{i} + (\text{sen } z \text{ sen } a) \hat{j} + (\text{cos } z) \hat{k}, \quad \text{em que}$$

z = ângulo zenital do Sol;

a = azimute do Sol.

Os vetores normais ao refletor e à superfície horizontal foram definidos, respectivamente, como:

$$\hat{u}_n = \sin\beta \vec{i} + \cos\beta \vec{j};$$

e

$$\hat{u}_n = \vec{k}, \quad \text{sendo}$$

β = ângulo de inclinação do refletor em relação ao plano horizontal.

O vetor unitário na direção do raio refletido, \hat{u}_r , foi obtido de acordo com as relações:

$$\hat{u}_s \times \hat{u}_n = \hat{u}_n \times \hat{u}_r \quad \text{e} \quad \hat{u}_n \cdot \hat{u}_r = \cos(\theta) \cdot |\hat{u}_n| \cdot |\hat{u}_r|, \quad \text{onde}$$

θ = ângulo de incidência dos raios solares no refletor.

Tais relações permitem obter as componentes ortogonais do vetor unitário \hat{u}_r (r_1 , r_2 , r_3).

Para o cálculo da irradiância solar refletida (I_{dr}), além do conhecimento da irradiância solar associada aos raios que chegam diretamente do Sol, F , torna-se necessário conhecer o coeficiente de reflexão do refletor, C_r , e o ângulo α_r , ângulo este formado entre o vetor unitário \hat{u}_r e o vetor unitário normal à superfície horizontal. A irradiância F foi estimada de acordo com o Modelo A apresentado por IQBAL (1983), como descrito a seguir:

$$F = I_{cs} \cdot (\tau_0 \tau_r - \alpha_w) \cdot \tau_a \quad (\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) \quad \text{em que,}$$

F = irradiância solar direta em uma superfície normal aos raios solares à distância média Terra-Sol ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$);

τ_0 = transmitância atmosférica considerando apenas o ozônio como agente de atenuação da radiação solar;

Erro! Indicador não definido. τ_r = transmitância atmosférica considerando apenas a atenuação associada ao espalhamento de Rayleigh;

τ_a = transmitância atmosférica considerando apenas os aerossóis como agente de atenuação da radiação solar;

α_w = fração da energia incidente absorvida pelo vapor d'água;

I_{cs} = constante solar ($1367 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

O ângulo α_r , obtido a partir do produto interno entre os vetores unitários \hat{u}_r e \hat{u}_n , foi calculado como:

$$\alpha_r = \arccos \left| -\sin\beta \cdot \cos\beta \cdot \sin\theta \cdot \cos\alpha + \cos\beta \cdot \cos\theta - \sin^2\beta \cdot \cos\theta \right|$$

Assim, a irradiância solar refletida sobre a superfície horizontal plana foi determinada analiticamente como:

$$I_{dr} = F \cdot f_r \cdot C_r \cdot \cos \alpha_r,$$

sendo f_r o fator de correção da distância Terra-Sol.

Conhecidas a irradiância solar direta sobre a superfície horizontal (I_d), a irradiância solar refletida sobre a mesma superfície horizontal (I_{dr}), a área total da superfície horizontal receptora e a área iluminada pelos raios refletidos (A_{int}) (MATTA et alii., 1994), o ganho adicional instantâneo de energia solar pelo uso do refletor (\overline{GI}), é dado por

$$\overline{GI} = \frac{I_{dr} \cdot A_{int}}{LC \cdot CC} \quad (\text{J.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})$$

Assim, para se obter o ganho adicional diário de radiação solar direta (GD), basta determinar os horários inicial e final de reflexão e proceder-se à seguinte integração:

$$GD = \sum_{i=1}^n \overline{GI}_i \cdot \Delta t_i \quad (\text{J/m}^2)$$

em que n é o número de intervalos de tempo considerado, Δt_i o i -ésimo intervalo de tempo, em segundos (recomenda-se que Δt_i não seja superior a uma hora) e \overline{GI}_i o ganho instantâneo (W/m^2) calculado para o instante intermediário no intervalo Δt_i .

RESULTADOS

As Figuras 1 e 2 apresentam o ganho adicional de radiação solar direta (em porcentagem) na superfície coletora, para a localidade de Viçosa, para o dia de solstício de inverno (21/06) e para todo o ano, considerando diferentes larguras do refletor em relação ao coletor e refletores com inclinação fixa ou variável.

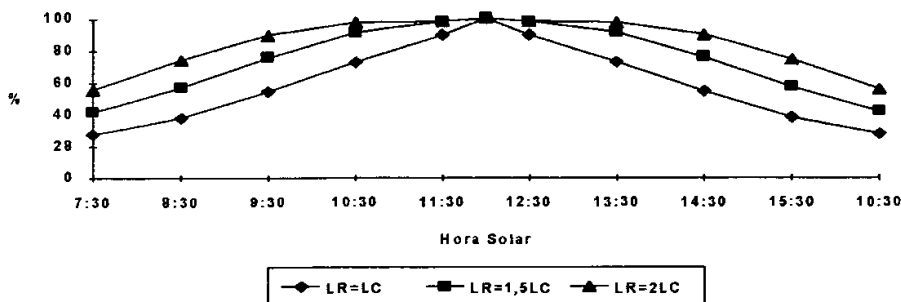


FIGURA 1-Ganho percentual de radiação solar na superfície horizontal receptora, ao longo do dia 21/06 (solstício de inverno), para Viçosa-M.G. ($\phi=20^{\circ}45'S$), considerando diferentes larguras do refletor (LR) em relação à largura da superfície coletora (LC).

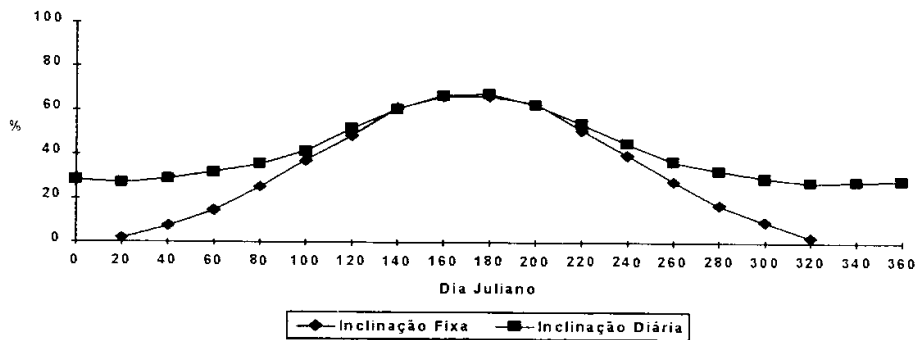


FIGURA 2-Ganho percentual de radiação solar direta na superfície receptora ao longo do ano, para Viçosa-M.G. ($\phi=20^{\circ}45'S$), considerando a inclinação do refletor fixa durante todo o ano ou variável de acordo com a inclinação ótima do refletor para o dia em questão.

BIBLIOGRAFIA

- IQBAL, M. An Introduction to Solar Radiation. Academic Press, Toronto, 1983. 390p.
- MATTA, C.R.B.; ALVES, A.R.; SOUZA e SILVA, J; VIEIRA, H.A. - Determinação analítica da área definida pela interseção dos raios refletidos com o plano do coletor solar num sistema refletor-coletor. In: Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - Campinas, Julho, 1994.
- MATTA, C.R.B.; ALVES, A.R.; SOUZA e SILVA, J; VIEIRA, H.A. - Determinação analítica da irradiância solar refletida por refletores planos em uma superfície horizontal plana. In: Anais do V Congresso Brasileiro de Meteorologia - II Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia - Belo Horizonte, outubro, 1994. v.1, p.441