



Estimativa do saldo de radiação em girassol como função da radiação solar global

**Arno B. Heldwein¹, Ivan C. Maldaner², Sidinei Z. Radons³,
Luis H. Loose¹, Dionéia D. P. Lucas¹ & Fernando D. Hinnah¹**

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho a obtenção de modelos para a estimativa do saldo de radiação (Q^*) a partir da radiação solar global incidente (R_g) sobre dosséis de plantas de girassol. Os experimentos foram conduzidos na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria, nos anos de 2007, 2008 e 2009. O Q^* foi medido com saldos radiômetros instalados acima das plantas e a R_g em estações meteorológicas automáticas. Para fins de cálculo foram efetuadas as somas diárias de Q^* e de R_g , obtendo-se a relação entre Q^* e R_g para cada dia. Obtiveram-se, então, modelos com elevado coeficiente de determinação e baixo RQME no teste entre valores medidos e estimados de um banco de dados independente, indicando precisão na estimativa do saldo de radiação em dosséis de girassol, independentemente da época de cultivo no ano. A função linear geral obtida com dados de diferentes épocas de cultivo foi: $Q^* = 0,5285 R_g$ ($R^2 = 0,95$), que no teste apresentou RQME = $1,04 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Conclui-se que o saldo de radiação (Q^*) pode ser estimado utilizando-se a radiação solar global medida em estações automáticas, com precisão suficiente para os diferentes fins na agrometeorologia do girassol.

Palavras-chave: agrometeorologia, dossel de plantas, estação meteorológica automática, saldos radiômetros, *Helianthus annuus*

Estimation of net radiation in sunflower as a function of solar radiation

ABSTRACT

This study aimed to develop models for estimating the net radiation (Q^*) from the incident solar radiation (R_g) on canopies of sunflower plants. The experiments were conducted at the Plant Science Department of the Federal University of Santa Maria in 2007, 2008 and 2009 years. Q^* was measured by net radiometers above the plants and R_g by automatic weather stations. For purposes of calculation, daily sums of Q^* and R_g were performed, obtaining the relationship between Q^* and R_g for each day. Models with high coefficient of determination and low RQME were obtained in test between measured and estimated values from an independent database, indicating precision to estimate net radiation in sunflower canopies, regardless of cultivation time in year. The general linear function with data obtained from different times of cultivation was: $Q^* = 0.5285 R_g$ ($R^2 = 0.95$), that the test showed RQME = $1.04 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. It was concluded that net radiation (Q^*) can be estimated using solar radiation measured by an automatic stations with sufficient accuracy for different purposes in sunflower agrometeorology.

Key words: agrometeorology, plant canopy, automatic meteorological station, net radiometers, *Helianthus annuus*

¹ Departamento de Fitotecnia/UFSM. Av. Roraima nº 1000, Prédio 77, Cidade Universitária, Bairro Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria, RS. Fone: (55) 3220-8179. E-mail: heldweinab@mail.ufsm.br, luisloose@yahoo.com.br, dio.pitol@gmail.com, fhinnah@bol.com.br

² Instituto Federal Farroupilha, Campus de São Vicente do Sul. Rua 20 de Setembro, CEP 97420-000, São Vicente do Sul, RS. Fone: (55) 3257-1114. E-mail: ivan_maldaner@yahoo.com.br

³ UFFS, Campus Cerro Largo. Rua Major Antônio Cardoso, 570, CEP 97900-000, Cerro Largo, RS. Fone: (55) 3359-3978. E-mail: radons@uffs.edu.br

INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é cultivado em todos os continentes e principalmente no leste europeu e em países da antiga União Soviética, Argentina, EUA, China, Canadá e México. Destaca-se por sua adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, podendo ser cultivado em muitos estados brasileiros, desde o Rio Grande do Sul até Roraima (EMBRAPA, 2007).

No Brasil, a área semeada com girassol teve aumento nos últimos anos atingindo 112 mil ha na safra de 2007/2008; no entanto, na safra 2009/2010 a área cultivada foi de apenas 68 mil ha, inclusive com decréscimo na produtividade média (CONAB, 2010) demonstrando ser necessário se obter informações técnicas a respeito da cultura para que melhores produtividades possam ser obtidas e seu cultivo seja viabilizado.

Tanto para o girassol quanto para as demais culturas, a radiação solar global (R_g) tem elevada importância na produtividade, visto que afeta diretamente a quantidade de carboidratos resultantes da fotossíntese, além de que outros processos relacionados à planta e ao ambiente dependem dessa fonte de energia, tais como a transferência de água da superfície para a atmosfera, o aquecimento e resfriamento do ar e do solo, assim como o processo de evapotranspiração.

Ao incidir sobre a superfície terrestre a R_g interage com a mesma. Fatores relacionados aos componentes de ondas curtas e ondas longas, destacando-se: latitude, altitude, época do ano, cobertura de nuvens, composição espectral da R_g , propriedades espectrais da cultura, grau de cobertura do solo pela cultura, disponibilidade hídrica do solo e temperatura da superfície e da atmosfera (Blad & Baker, 1972; Viswanadham, 1981), alteram as interações radiação versus superfície. Dessas interações, somando-se os fluxos de radiação solar e de onda longa entre a atmosfera e a superfície vegetada, resulta a energia radiante disponível ou o saldo de radiação (Q^*).

O conhecimento do Q^* é fundamental para o entendimento das relações genótipo-ambiente que determinarão a produtividade da cultura (Souza et al., 1999) especialmente para estimar as perdas de água da cultura através do processo de evapotranspiração (Monteith & Unsworth, 1990; Dantas et al., 2003).

Segundo Azevedo et al. (1990), medir o Q^* na superfície de um dossel de plantas com saldos radiômetros, é algo complexo e dispendioso, uma vez que esses equipamentos possuem alto custo e requerem técnicos especializados para operação continuada e calibração, além de exigir substituição frequente das cúpulas e da sílica. Em uma superfície plana Q^* pode ser determinado combinando-se as equações de Angström-Prentiss, para as componentes de radiação de onda curta e a equação de Brunt para a componente de onda longa emitida da atmosfera. Este método é recomendado pela FAO para se obter a evapotranspiração de referência, pelo método de Penman-Monteith, a partir de dados de estações meteorológicas convencionais (Allen et al., 1998). Porém, este método proposto pela FAO para a estimativa da Q^* ainda necessita, em geral, da medida de diversas variáveis meteorológicas, entre elas a insolação, as quais nem sempre são possíveis devido à falta de

equipamentos (Fontana et al., 1991), podendo também tornar a determinação mais onerosa do que a medida do saldo de radiação. A medida direta do saldo de radiação sobre a cultura também é onerosa pela exigência e manutenção de equipamento específico e pela necessidade de uma instalação correta e deslocamento de nível do equipamento paralelo ao aumento de altura das plantas.

Para contornar esses problemas, autores recorreram aos dados de R_g obtidos por meio de sensores para estimar o Q^* em áreas cultivadas com soja, algodão e feijão (Azevedo et al., 1990), banana (Teixeira, 2001), videira (Pezzopane & Pedro Júnior, 2003), café (Pezzopane et al., 2005) e feijão caupi (Neves et al., 2008), o que torna sua determinação mais simples e aplicável em sistemas operacionais. Conforme Azevedo et al. (1997), o Q^* apresenta alta correlação com a R_g , tanto para períodos curtos (dias, semanas) como para longos (meses), observando coeficientes de determinação maiores que 0,97, confirmando haver dependência linear entre essas variáveis.

Neves et al. (2008) relatam que o Q^* correspondeu a 61% da R_g em doses de feijão-caupi; já Silva et al. (2007) observaram, realizando avaliações em superfícies de grama batatais e capim tanzânia, que o Q^* correspondeu, respectivamente, a 53 e 54% da R_g nessas superfícies vegetadas. Fietz & Fisch (2009) concluíram, em Dourados, MS, Brasil, que 43% da R_g permaneceram na superfície de referência, na forma de Q^* .

Este trabalho objetiva determinar a relação do saldo de radiação e a radiação solar global incidente sobre doses de plantas de girassol em diferentes épocas de cultivo e fases de desenvolvimento e gerar modelos lineares que descrevam essa relação.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (29° 43' S; 53° 43' W), localizado no centro da região fisiográfica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 2006). O clima local, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa, descrito como subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida.

Foram realizadas semeaduras nas épocas de “primavera-início de verão” (safra) de 2007 e 2008 e “final de verão-outono” (safrinha) de 2008 e 2009. O espaçamento utilizado foi de 0,9 m entre linhas por 0,25 m entre plantas, obtendo-se uma população final de 44.444 plantas por hectare. O manejo da cultura seguiu as recomendações técnicas para o cultivo do girassol (EMBRAPA, 2007). As observações do Q^* foram realizadas durante os ciclos do girassol, híbrido Hélio 358, no centro das áreas experimentais as quais possuíam, no mínimo, 1200 m².

Os dados de R_g foram medidos usando-se um solarímetro marca Kipp & Zonen, na estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia, distante 30 a 80 m dos experimentos. O Q^* sobre o dossel das plantas de girassol foi medido com o uso de dois saldoradiômetros não

ventilados, marca Delta-T, mantidos entre 0,5 a 0,8 m de altura acima das plantas de uma fileira. Os saldoradiômetros foram conectados a um sistema de aquisição de dados marca Elle (datalogger) modelo MM900, que realiza medidas com a frequência de 1 segundo e armazena médias a intervalos de 10 min. Conforme Fietz & Fisch (2009), o Q^* no período diurno depende bastante do fluxo de R_g , que é positivo durante o dia e nulo à noite, razão pela qual se efetuaram as somas diárias de R_g e Q^* , incluindo-se o período noturno, em que o Q^* é negativo.

Ao longo do período de cultivo foram observados os estágios fenológicos das plantas. O dia da emergência (EM) foi considerado quando 50% das plantas estavam com os cotilédones abertos acima da superfície do solo. O início da fase reprodutiva (R1) foi considerado quando 50% das plantas se apresentavam no estágio R1 e a colheita foi realizada quando 50% das plantas da área útil da parcela estavam no estágio de R9, conforme escala fenológica de Schneiter & Miller (1981).

Além de um modelo geral foram gerados modelos para duas épocas de semeadura (safra e safrinha), para dois subperíodos de desenvolvimento (antes do início da fase reprodutiva e após) e também para duas condições de umidade da camada superficial do solo (úmido e seco), visto seu provável efeito no Q^* no dossel de girassol. Na diferenciação das condições de solo úmido ou seco foi considerada uma fração de água disponível da camada superficial do solo (f), assumindo-se $f = 10$ mm. Foram considerados com superfície do solo úmida os dias subsequentes à precipitação pluvial (P) nos quais a evapotranspiração potencial acumulada não superou 10 mm ou P (quando $3 < P < 10$ mm). Os demais dias foram classificados dias com superfície de solo seca.

Para a época de safra foram utilizados os dados do ano de 2007 para a geração dos modelos e os dados de 2008 para teste. Na geração dos modelos para a época de safrinha foram utilizados os dados de 2008 e, para o respectivo teste, os dados de 2009. A estatística utilizada para a avaliação do desempenho dos modelos (avaliar o grau de ajuste) foi principalmente a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RQME), utilizando-se a Eq. 1 (Janssen & Heuberger, 1995) e o erro absoluto médio (EAM):

$$RQME = \left(\frac{\sum (s_i - o_i)^2}{N} \right)^{0,5} \quad (1)$$

$$EAM = \frac{\sum s_i - o_i}{N} \quad (2)$$

em que:

s - valor estimado

o - valor observado

N - número de observações do banco de dados utilizado para o teste

Considera-se melhor o modelo que apresentar menor RQME e erro absoluto médio próximo a zero. Também foram

considerados os coeficientes linear e angular da regressão linear entre os valores medidos (o) e estimados (s) pelo modelo e o respectivo coeficiente de determinação ajustado (r^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de R_g e Q^* seguiram a mesma tendência ao longo dos períodos de cultivo do girassol, em que as oscilações na R_g refletiram proporcionalmente nas variações do Q^* . O que existe é uma estreita relação $Q^* R_g^{-1}$, de vez que o Q^* em dosséis de girassol depende extremamente da R_g , o que se confirma na análise de regressão com a obtenção de valores dos coeficientes de determinação (R^2) maiores que 0,92 (Figura 1), representando a precisão da relação, enquanto os erros foram baixos, da ordem de 0,93 a 2,04 MJ m² d⁻¹ para o RQME e entre 0,12 a -1,86 MJ m² d⁻¹ em termos de erro absoluto médio, com tendência a subestimativa (Tabela 1), valores que se mantêm de acordo com a relação entre essas variáveis meteorológicas obtidas em outros trabalhos (Sentelhas & Nascimento, 2003).

Verificou-se, na análise de regressão, que existe correlação entre valores diários de Q^* e R_g , a qual permitiu se ajustar uma reta através do método dos mínimos quadrados obtendo-se, assim, modelos lineares que descrevem com precisão o Q^* diário em função da R_g para ambas as épocas estudadas. Em geral, a relação $Q^* R_g^{-1}$, dada pelo coeficiente angular da regressão linear entre essas variáveis, apresentou variação de 0,48 e 0,54. Valores semelhantes foram encontrados em trabalhos com outras culturas (Teixeira, 2001; Pezzopane & Pedro Júnior, 2003; Pezzopane et al., 2005; Neves et al., 2008). Observou-se que nos períodos de safra, em estágios iniciais de desenvolvimento, assim como em dias de solo seco, que existe tendência da relação $Q^* R_g^{-1}$ ser menor em relação aos períodos de safrinha em estágios mais avançados e com solo úmido.

Para um modelo geral obteve-se um coeficiente angular de 0,5285, significando que o Q^* corresponde a cerca de 52,8% da R_g incidente sobre os cultivos de girassol (Figura 1A). Este valor significa que as perdas de energia por processos de radiação envolvendo a reflexão da R_g e pelo saldo de radiação de onda longa, são de aproximadamente 47,2% da R_g incidente. O modelo e seu respectivo teste apresentaram coeficientes de determinação altos (R^2 e $r^2 > 0,95$) e boa precisão (RQME = 1,04) para sua utilização em sistemas operacionais e modelos agrometeorológicos para a estimativa da evapotranspiração (Figura 1B).

Para a safra obteve-se um modelo apresentando coeficiente angular de 0,5254, enquanto para o período de safrinha se obteve o valor de 0,5351 (Figuras 1C e 1E) sinalizando, portanto, que 52,5 e 53,5% da R_g foram utilizados na forma de Q^* para safra e safrinha, respectivamente; pode-se dizer, então, que na safrinha o girassol é mais eficiente no uso da R_g , uma vez que a disponibilidade é menor que na safra. Ambos os modelos apresentam elevados coeficientes de determinação, tanto na geração (R^2) quanto no teste (r^2). Os modelos podem ser considerados de boa precisão, uma vez que a RQME obtida para a safra foi 1,12 e, para a safrinha, 1,04 (Figuras 1D e 1F) e os valores do erro absoluto médio foram próximos a zero (Tabela 1).

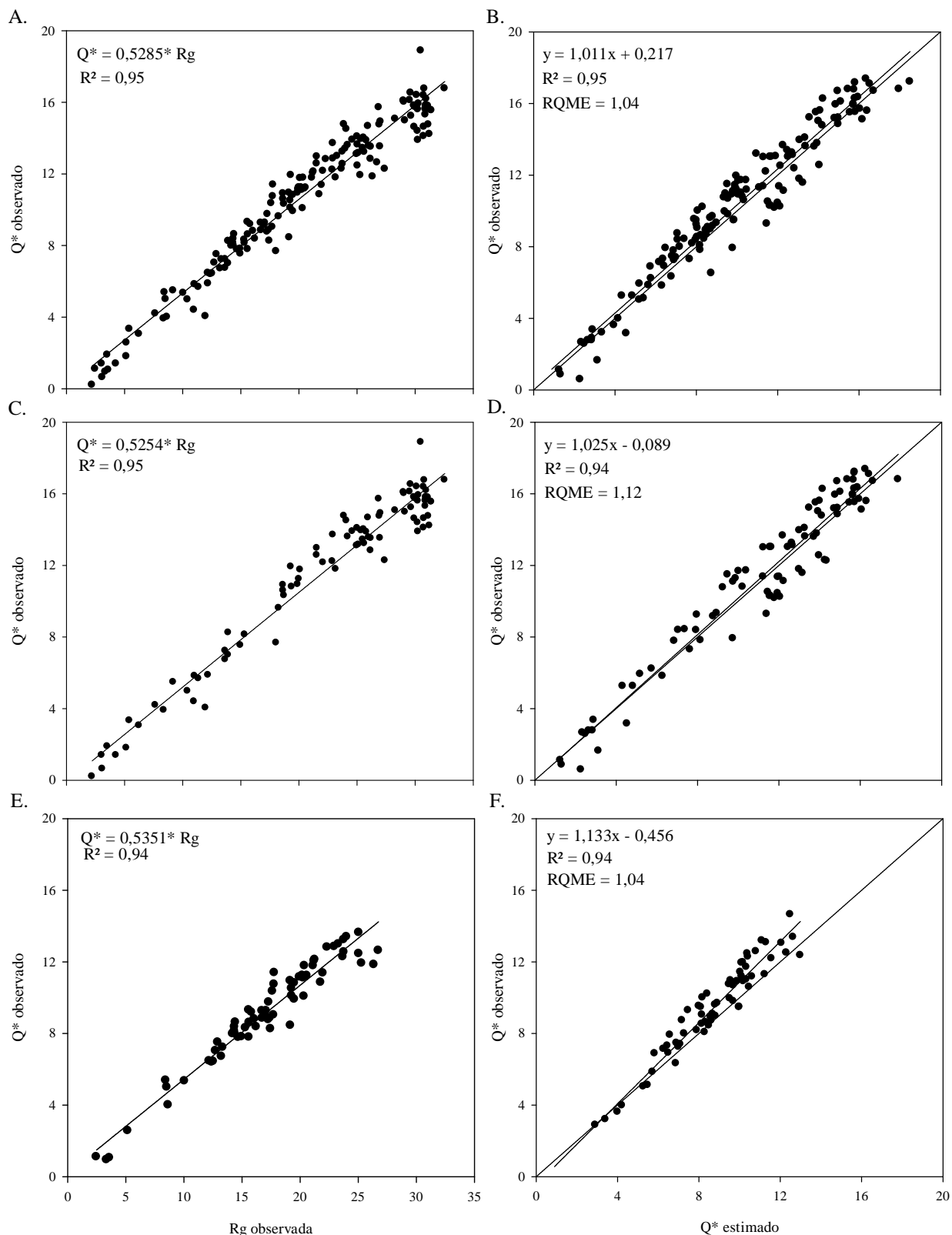


Figura 1. Modelo da regressão linear para o modelo geral (A), FI-primavera (C) e FV-outono (E), e seus respectivos testes (B, D e F) na estimativa do saldo de radiação. Santa Maria 2011

Foram obtidos, dividindo-se o ciclo da cultura em dois subperíodos, diferentes modelos para estimar o aproveitamento da energia solar. Em geral, o Q^* foi menor nos estádios anteriores ao R1 e o Q^* correspondeu a 50,4%, enquanto após o estágio R1 o Q^* chega a 53,3% na safrinha (Tabela 1) fato devido

principalmente à baixa cobertura do solo, no início do desenvolvimento da cultura, uma vez que há pouca superfície foliar, a qual aumenta proporcionalmente à medida em que a planta se desenvolve. Com um índice de área foliar (IAF) maior, a cultura intercepta um percentual maior da R_g que chega à superfície.

Tabela 1. Modelos para estimativa do saldo de radiação (Q^*) em dosseis de girassol, em função da radiação solar global incidente (R_g), respectivos coeficientes de determinação obtidos na geração (R^2) e teste (r^2) do modelo, coeficientes angular (a), linear (b), raiz quadrada do quadrado médio do erro (RQME) e erro absoluto médio (EAM) entre valores observados e estimados

Abrangência dos dados	Nº	Modelo*	R^2	a	Teste modelo			
					b	r^2	RQME	EAM
Todo ciclo	1	$Q^* = 0,5285 R_g$	0,95	1,011	0,217	0,95	1,04	-0,33
	2	$Q^* = 0,5254 R_g$	0,95	1,025	-0,089	0,94	1,12	-0,19
	3	$Q^* = 0,5351 R_g$	0,94	1,133	-0,456	0,94	1,04	-0,68
EM-R1	4	$Q^* = 0,5036 R_g$	0,96	1,034	0,204	0,89	1,47	-0,49
	5	$Q^* = 0,5164 R_g$	0,97	0,989	-0,286	0,93	1,25	0,12
	6	$Q^* = 0,4839 R_g$	0,94	1,108	0,906	0,90	2,04	-1,86
Após R1	7	$Q^* = 0,5332 R_g$	0,96	0,867	2,449	0,90	1,55	-0,99
	8	$Q^* = 0,5269 R_g$	0,94	0,927	1,378	0,88	1,11	-0,40
	9	$Q^* = 0,5481 R_g$	0,97	1,213	-0,162	0,98	1,72	-1,60
Todo ciclo	10	$Q^* = 0,5488 R_g$	0,97	0,995	0,261	0,96	0,93	-0,21
Todo ciclo	11	$Q^* = 0,5229 R_g$	0,92	0,996	0,342	0,90	1,18	-0,29

* Modelo 1 = modelo geral obtido com todos os dados até o outono de 2008 e teste com os dados de final de inverno-primavera de 2008 e final de verão-outono de 2009; 2 = modelo obtido com os dados do outono de 2008 e teste com os dados do outono de 2009; 3 = modelo obtido com os dados da primavera de 2007 e respectivo teste com dados de 2008; 4 = modelo geral para o período da emergência até o estágio R1 (EM-R1), conforme a escala fenológica de Schneider & Miller (1981); 5 = modelo para EM-R1 no outono; 6 = modelo para EM-R1 na primavera; 7 = modelo geral após R1; 8 = modelo após R1 para o outono; 9 = modelo após R1 para a primavera; 10 = modelo com todos os dados para o solo úmido; 11 = modelo com todos os dados para superfície de solo seco.

Foram gerados modelos para estimativa de Q^* para o subperíodo de emergência ao início do período reprodutivo R1 (EM-R1) e para o subperíodo R1, até a maturação fisiológica (Após R1); para EM-R1 obteve-se um modelo geral, outro para a safra e o último para a safrinha, em que os coeficientes angulares dos modelos foram de 0,5036, 0,5164 e 0,4839, respectivamente. Os coeficientes de determinação (R^2) dos modelos foram todos maiores de 0,94 e os do teste (r^2), maiores que 0,89. Os três modelos apresentam RQME (Tabela 1) que permite inferir que a magnitude da variação entre os modelos é desprezível para modelos agrometeorológicos, sendo que qualquer um deles poderia ser usado sem prejuízo na estimativa do Q^* para o girassol.

Para o período Após R1, também foi gerado um modelo geral, um para safra e outro para safrinha. O modelo geral apresentou coeficiente angular igual a 0,5332, indicando que em torno de 53,3% da R_g é a energia líquida retida nas plantas e superfície, enquanto 46,7% são perdidos para a atmosfera; o valor de R^2 é de 0,96, enquanto o r^2 é de 0,90 e o RQME é igual a 1,55. Na safra, o Q^* correspondeu a 52,7% ($Q^* R_g^{-1} = 0,5269$) enquanto para a safrinha, 54,8% ($Q^* R_g^{-1} = 0,5481$). Os valores de R^2 foram maiores que 0,94, enquanto os valores de RQME foram de 1,11 e 1,72 para os cultivos de safra e safrinha, respectivamente.

Comparando os modelos gerados para condições de superfície do solo seca e úmida, nota-se que a relação $Q^* R_g^{-1}$ é afetada pela condição de umidade na camada superficial do solo, sendo que o Q^* é 2,5% maior quando esta se encontra úmida. Com a diminuição dessa umidade do solo, o albedo tende a aumentar, cujos resultados concordam com os obtidos por Assis (2000), ao relatar que em solo úmido a reflexão foi menor, sobretudo no estágio inicial do cultivo do pepineiro, quando a superfície não está totalmente coberta pelas plantas. Segundo Monteith & Unsworth (1990), em solos completamente secos o albedo é aproximadamente 1,8 vez mais alto do que o de solos úmidos e este diminui mais drasticamente quando o conteúdo de umidade aumenta de 1 para 15-20%. Além disso, solos secos se aquecem mais na superfície, o que pode contribuir para aumentar a emissão de

radiação de onda longa. Conforme a lei de Stefan-Boltzmann, em condição de temperatura do ar entre 15 a 27 °C, uma diferença de temperatura de 2 °C na superfície do solo resulta em uma diferença de emissão de energia da ordem de 11 W m⁻². Assim, as duas equações obtidas podem ser utilizadas separadamente para condições de superfície do solo úmida e seca, em que os coeficientes angulares foram 0,5488 e 0,5229, ou seja, a energia radiante correspondeu em torno de 54,8 e 52,3% da R_g , respectivamente. Os valores de R^2 e r^2 foram maiores que 0,90. A RQME para solos úmidos e secos foi de 0,93 e 1,18, respectivamente (Tabela 1).

Todos os modelos apresentaram boa precisão, com RQME em torno de 1,0. Coeficientes de determinação elevados foram obtidos tanto na geração (R^2) tanto quanto no teste dos modelos (r^2), confirmando que o Q^* de cultivos de girassol pode ser estimado com boa precisão. Assim, a utilização de modelos separados por época, por condição de umidade da camada superficial do solo ou por estágio fenológico da cultura de girassol, dependerá da maior ou menor precisão requerida na utilização dos dados de Q^* estimados. Para fins práticos operacionais o modelo geral pode ser utilizado para estimar o saldo Q^* .

Esses resultados têm elevada relevância prática, visto que, em geral, nas estações meteorológicas dos sistemas dos serviços oficiais de meteorologia e nas estações dos sistemas operacionais de agrometeorologia não é feito o registro de Q^* em razão do alto custo de aquisição e manutenção de saldoradiômetros.

CONCLUSÕES

1. O saldo de radiação em dosseis de girassol pode ser estimado através da utilização da radiação solar global.
2. Dependendo da precisão exigida para a estimativa do saldo de radiação sobre dosseis de girassol, pode-se utilizar o modelo geral ou os demais modelos.

3. A média da relação $Q^* R_g^{-1}$ em doses de girassol varia em até 3% com a época de cultivo, podendo-se utilizar o modelo geral $Q^* = 0,5285 R_g$.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelas bolsas concedidas.

LITERATURA CITADA

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 300p, 1998. Irrigation and Drainage Paper 56.
- Assis, S. V. de. Radiação solar em estufa de polietileno cultivada com pepino (*Cucumis sativus*). Revista Brasileira de Agrociência, v.6, p.258-263, 2000.
- Azevedo, P. V. de; Leitão, M. M. V. B. R.; Sousa, I.F de; Maciel, G.F. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v.5, p.403-410, 1990.
- Azevedo, P. V. de; Teixeira, A. H. de C.; Silva, B. B. da; Soares, J. M.; Saraiva, F. A. M. Avaliação da reflectância e do saldo de radiação sobre um cultivo de videira europeia. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.5, p.1-7, 1997.
- Blad, B. L.; Baker, D. G. Reflected radiation from a soybean crop. Agronomy Journal, v.64, p.277-280, 1972.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Quarto levantamento da safra 2009/2010. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2010. 45p.
- Dantas, A. A. D.; Carvalho, L. G.; Ferreira, E. Estimativa da radiação solar global para a região de Lavras, MG. Ciência Agrotécnica, v.27, p.1260-1263, 2003.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Indicações para o cultivo do girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima. Comunicado Técnico 78. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 4p.
- Fietz, C. R.; Fisch, G. F. Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, p.449-453, 2009.
- Fontana, D. C.; Berlato, M. A.; Bergamaschi, H. Balanço de radiação da soja em região subtropical do Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.26, p.411-418, 1991.
- Janssen, P. H. M.; Heuberger, P. S. C. Calibration of process-oriented models. Ecological Modelling, v.83, p.55-56, 1995.
- Monteith, J. L.; Unsworth, M. H. Principles of Environmental Physics. 2 ed. London: Edward Arnold, 1990, 291p.
- Neves, L. O.; Costa, J. M. N.; Andrade, V. M.; Lôla, A. C.; Ferreira, W. P. Balanço de energia em uma cultura de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L.) no estado do Pará. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.16, p.21-30, 2008.
- Pezzopane, J. R. M.; Pedro Júnior, M. J. Balanço de energia em vinhedo de "niágara rosada". Bragantia, v.62, p.155-161, 2003.
- Pezzopane, J. R. M.; Pedro Júnior, M. J.; Gallo, P. B. Radiação solar e saldo de radiação em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana "prata anã". Bragantia, v.64, p.485-497, 2005.
- Schneiter, A. A.; Miller, J. F. Description of sunflower growth stages. Crop Science, v.21, p.901-903, 1981.
- Sentelhas, P. C.; Nascimento, A. L. C. Variação sazonal da relação entre o saldo de radiação e a irradiância solar global. Revista Brasileira de Meteorologia, v.18, p.71-77, 2003.
- Souza, J. L.; Escobedo, J. F.; Tornero, M. T. T. Albedo e estimativas do saldo de radiação em feijão-vagem sob cobertura de plástico e ambiente externo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.34, p.1763-1774, 1999.
- Silva, L. D. B.; Folegatti, M. V.; Nova, N. A. V.; Carvalho, D. F. Relações do saldo de radiação em grama batatais e capim tanzânia com a radiação solar global em Piracicaba, SP. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.15, p.250-256, 2007.
- Teixeira, A. H. C. Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, p.28-32, 2001.
- Viswanadham, Y. Infrared flux and flux divergence in clear tropical Southern atmosphere. Ciência e Cultura, v.33, p.330-390, 1981.