



Razão entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global no cultivo do tomateiro em casa-de-vegetação

Antonio J. Steidle Neto¹, Sérgio Zolnier¹, Waldir A. Marouelli² & Osmar A. Carrijo²

RESUMO

Propôs-se, com este trabalho, determinar e analisar as variações da razão entre a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e a radiação global (Rg) durante o período de crescimento do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. Duradoro) cultivado em substrato de areia sob condições de ambiente protegido. Medições de Rg e RFA foram conduzidas no interior de uma casa-de-vegetação, coberta com filme plástico de polietileno, durante a estação seca, em Viçosa, MG. Paralelamente, a Rg foi medida também em uma estação meteorológica automática. A razão RFA/Rg sofreu uma redução de 1,691 para 1,574 mol MJ⁻¹, no período compreendido entre as 1^a e 9^a semanas após o transplante e se manteve praticamente estável entre as 9^a e 13^a semanas, oscilando entre 1,571 e 1,587 mol MJ⁻¹. Posteriormente, com a ocorrência da alternância de condições de céu claro para dias nublados, a RFA/Rg sofreu aumentos consideráveis (1,93 e 2,07 mol MJ⁻¹), os quais estão próximos dos obtidos em outras localidades do Brasil. Com base nos resultados, é possível afirmar que ocorreu efeito pouco expressivo da expansão foliar da cultura em reflexões múltiplas da radiação solar no interior do ambiente protegido e um efeito marcante da nebulosidade na razão RFA/Rg.

Palavras-chave: ambiente protegido, *Lycopersicon esculentum*, radiação solar

Ratio between photosynthetically active radiation and global radiation during tomato growth inside greenhouse

ABSTRACT

It was proposed in this study to determine and analyze variations in the ratio between photosynthetically active radiation (PAR) and global solar radiation (GR) during the growth season of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. Duradoro) crop in sand substrate under protected cultivation. Measurements of GR and PAR were conducted inside of a single layer polyethylene greenhouse during the dry season in Viçosa, Minas Gerais, Brazil. Simultaneously, the GR was measured in an automatic weather station. The PAR/GR ratio decreased from 1.691 to 1.574 mol MJ⁻¹, from the first to the ninth week after transplanting, and was relatively constant, oscillating between 1.571 and 1.587 from the ninth to the thirteenth week. Thereafter, when clear sky conditions changed to cloudy days, the PAR/GR ratio increased considerably (1.93 e 2.07 mol MJ⁻¹), reaching values near to those determined in other Brazilian locations. Based on results it is possible to affirm that little effect of leaf expansion on multiple reflections of solar radiation inside the greenhouse occurred, but a remarkable influence of the clouds in the PAR/GR ratio was verified.

Key words: greenhouse, *Lycopersicon esculentum*, solar radiation

¹ DEA/UFV, CEP 36570-000, Viçosa, MG. Fone: (31) 3899-1880. E-mails: steidle@gmail.com; zolnier@ufv.br

² EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, Rodovia BR 060, km 9, CEP 70359-970, Brasília, DF. Fone: (61) 3385-9068. E-mails: waldir@cnph.embrapa.br; carrijo@cnph.embrapa.br

INTRODUÇÃO

No Brasil, alguns pesquisadores (Guiselini et al., 2004; Pezzopane et al., 2004) têm desenvolvido trabalhos em ambientes protegidos com o propósito de determinar a fração da Radiação Global (Rg) compreendida na faixa espectral de 0,4 a 0,7 μm . Esta parte do espectro, conhecida como Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA), é importante no crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo uma das variáveis de entrada em modelos que simulam o acúmulo de matéria seca durante o ciclo das culturas (Tei et al., 1996).

Apesar de sua importância, a RFA não é uma variável frequentemente medida nas estações meteorológicas convencionais e automáticas dispersas pelo mundo. De acordo com Frisina (2002), medições de RFA podem ser realizadas diretamente por meio de sensores quânticos que medem a radiação solar na faixa espectral do visível ou por espectroradiômetros que medem as distintas faixas espectrais da Rg; normalmente estes equipamentos possuem alto custo e são de difícil aferição.

De acordo com Alados & Alados-Arboledas (1999), o termo “radiação fotossinteticamente ativa” engloba não apenas o conceito de fótons fotossintéticos mas também o de energia. Para fins fisiológicos, as unidades de RFA são expressas em termos de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); já para aplicações meteorológicas, a RFA é normalmente expressa em termos de densidade de fluxo de energia radiante (MJ m^{-2} ou W m^{-2}). Para a conversão de unidades de fótons fotossintéticos em energia ou vice-versa, McCree (1972) propôs o fator 4,57 mol MJ^{-1} para condições de incidência de radiação solar direta e difusa, e 4,24 mol MJ^{-1} para ambientes onde ocorre somente incidência de radiação solar difusa. Utilizando-se os fatores de McCree e se considerando que a fração de RFA presente dentro do espectro de radiação solar global está em torno de 45%, González & Calbó (2002) relataram que é comum o uso do fator de conversão 2 mol MJ^{-1} para se estimar a radiação fotossinteticamente ativa, a partir de medições da radiação solar global.

Nos estudos em que se objetiva determinar a magnitude da RFA sob condições de casa-de-vegetação, o tipo de material utilizado na cobertura assume papel significativo, afetando a densidade de fluxo de radiação no interior do ambiente de cultivo, de acordo com a variação da sua transmissividade; além disso, a razão entre RFA e Rg sofre variações espaciais, sazonais e interanuais, dependendo das condições meteorológicas reinantes e do clima local (Steidle Neto et al., 2006; Finch et al., 2004). O tempo de exposição do material de cobertura à radiação solar também afeta o percentual de RFA transmitida. Scarascia-Mugnozza et al. (2004) verificaram que a transmissividade da RFA de quatro filmes plásticos biodegradáveis diminuiu de 80 para 67%, aproximadamente, no período de exposição de 140 dias.

Segundo Kittas et al. (1999), pequenas diferenças na transmissividade do material de cobertura à radiação solar podem ter efeito significativo no crescimento e no desenvolvimento das culturas. Cockshull et al. (1992) constataram que o aumento de 1% da RFA proporcionou um acréscimo de apro-

ximadamente 1% na produtividade do tomateiro. Papadopoulos & Hao (1997) relataram que o tamanho dos frutos de tomate foi similar em instalações cobertas com vidro e acrílico mas, com a utilização de dois filmes plásticos separados por insuflamento de ar, ocorreram reduções entre 6 e 12% no número de frutos classificados como extra grande.

O filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) é o material mais empregado para cobertura de casa-de-vegetação, pois apresenta ótimas propriedades físicas, alta transmissividade à radiação solar, facilidade de aquisição e baixo custo inicial (Scarascia-Mugnozza et al., 2004; Buriol et al., 1993).

Embora vários trabalhos tenham sido publicados no Brasil e no exterior, visando à quantificação da RFA sob condições de cultivo em ambiente protegido (Guiselini et al., 2004; Pezzopane et al., 2004; Scarascia-Mugnozza et al., 2004; Frisina, 2002; Pollet & Pieters, 2002), poucas pesquisas têm enfatizado as alterações da razão RFA/Rg durante o período de crescimento da cultura, particularmente para o tomateiro cultivado em substratos inertes (Papadopoulos & Hao, 1997). Assim, este trabalho foi realizado com o objetivo de se determinar e analisar as variações da razão RFA/Rg durante o período de crescimento do tomateiro, cultivado em substrato de areia, em uma casa-de-vegetação coberta com filme plástico de polietileno.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área experimental do setor de Meteorologia Agrícola, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG. As coordenadas geográficas do local são: latitude de 20° 45' 45" S, longitude de 42° 52' 04" W e altitude de 690 m. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é Cwa (clima temperado quente – mesotérmico), com estação seca no inverno e chuvosa no verão.

A casa-de-vegetação, construída no sentido Leste-Oeste, possuía cobertura constituída de material metálico galvanizado, com formato de um semi-arco; as dimensões da instalação tinham 15 m de comprimento, 7 m de largura e 2,0 e 3,5 m de pé-direito lateral e central, respectivamente. A superfície do solo foi recoberta por uma camada de pedra britada número zero, com 6 cm de espessura. Um filme plástico de polietileno de baixa densidade com filtro ultravioleta e espessura de 150 μm foi usado como cobertura. Para reduzir a entrada de insetos no ambiente de cultivo utilizou-se, nas laterais da casa-de-vegetação, uma tela plástica branca (clarite), com malha de 1 mm. Não foi usado nenhum equipamento de climatização durante a realização do experimento, compreendendo a estação seca do período outono-inverno de 2003.

O material plástico de cobertura foi colocado sobre a estrutura metálica da instalação, em maio de 2002; assim, no momento do início do experimento, o filme plástico já tinha sido exposto previamente à radiação solar, pelo período de 12 meses. Durante o período de medição da radiação solar,

a casa-de-vegetação foi cultivada com tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.), híbrido Duradoro, transplantado em substrato de areia lavada, o qual foi acondicionado em vasos plásticos com capacidade de 15 L; no entanto, apenas 10 L de substrato foram usados para cada planta. Antes de ser acondicionada nos vasos plásticos, a areia, de textura grossa, foi peneirada, utilizando-se uma malha de 2 mm. O espaçamento entre plantas e fileiras foi de 50 e 60 cm, respectivamente.

O sistema de fertirrigação era do tipo localizado, usando-se tubo-gotejadores que, derivando de uma tubulação principal, aplicavam a solução nutritiva diretamente no substrato. No período compreendido entre 7 e 10 h e entre 16 e 19 h, as plantas foram fertirrigadas a cada 20 min, durante 10 s, mas nas horas de maior demanda de água pela cultura, entre 10 e 16 h, a solução era aplicada a cada 10 min, durante 10 s. Verificou-se que durações de fertirrigação acima de 10 s resultavam em excesso de drenagem, bem acima dos valores tipicamente recomendados de 20%. Adicionalmente, uma fertirrigação de 10 s era realizada às 24 h, para se evitar um possível estresse hídrico das plantas devido à transpiração noturna e à pequena capacidade de armazenamento de água do substrato.

O período experimental durante o qual foram monitoradas a RFA e a Rg, iniciou-se em 02/05/2003, 7 dias após o transplante das mudas (7 DAT), terminando em 18/09/2003 (142 DAT). Os dados de radiação medidos nesse período foram divididos em dois grupos, em que no primeiro grupo, referente ao período compreendido entre as 1ª e 13ª semanas após o transplante, se utilizaram dados referentes a 13 dias, espaçados de uma semana. Esses dados foram usados para se analisar a variação da razão RFA/Rg e da transmitância à radiação solar durante o crescimento do tomateiro e, posteriormente, para se determinar os valores médios nesse período; já os dados do segundo grupo, medidos entre a 13ª semana após o transplante e o final do experimento (142 DAT), foram integrados em períodos de 3 h e expressos em valores diários. Os valores totalizados em períodos de 3 h foram usados para validação dos valores de RFA estimados a partir de dois métodos, ou seja, no primeiro método (A), a RFA foi estimada multiplicando-se o valor médio da razão RFA/Rg, obtida entre as 1ª e 13ª semanas após o transplante, pela Rg acumulada em intervalos de 3 h (6-9; 9-12; 12-15 e 15-18 h); no segundo método (B), a RFA foi estimada multiplicando-se o coeficiente médio de transmitância à Rg, obtido também a partir do 1º grupo de dados, pela radiação global medida na estação meteorológica automática e pela razão 2 mol MJ^{-1} ; este valor tem sido proposto na literatura (González & Calbó, 2002) para estimativas aproximadas da RFA, com base em valores medidos da Rg.

Os dados de RFA e Rg no interior da casa-de-vegetação foram obtidos por meio de um sistema computadorizado, constituído de uma placa de aquisição de dados (modelo CYDAS 1602HR, Cyberresearch, Branford, CT) instalada em um microcomputador, um sensor quântico (modelo LI-190SA, LI-COR Inc., Lincoln, NE) e um piranômetro (modelo PSP, Eppley Laboratory Inc., Newport, RI). Os sensores foram instalados a 1,5 m de altura e, posteriormente, movimentados na

direção vertical, de forma a permanecerem 30 cm acima do dossel da cultura. As medidas de radiação foram armazenadas em intervalos de tempo de um minuto, sendo que cada valor correspondeu à média de 5 medições realizadas com intervalos de um segundo.

Além dos dados do interior do ambiente protegido, utilizaram-se também medições de radiação global do ambiente externo, informações essas obtidas a partir de uma Plataforma de Coleta de Dados (PCD), localizada a aproximadamente 500 m da casa-de-vegetação, pertencente ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O piranômetro, instalado nesta plataforma, realizava medições com intervalos de 10 s. Os dados medidos eram acumulados ao longo de um período de 3 h e o valor resultante, em MJ m^{-2} , era armazenado pela PCD. O horário de coleta das informações era sincronizado com a hora universal GMT (Greenwich Mean Time).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se, na Figura 1, a razão entre a RFA e a Rg, a equação de estimativa e o respectivo coeficiente de determinação (R^2), obtidos a partir de dados instantâneos de radiação que foram integrados ao longo de cada hora do período diurno (partição horária). Os valores de RFA/Rg se referem ao período compreendido entre as 1ª e 13ª semanas após o transplante do tomateiro.

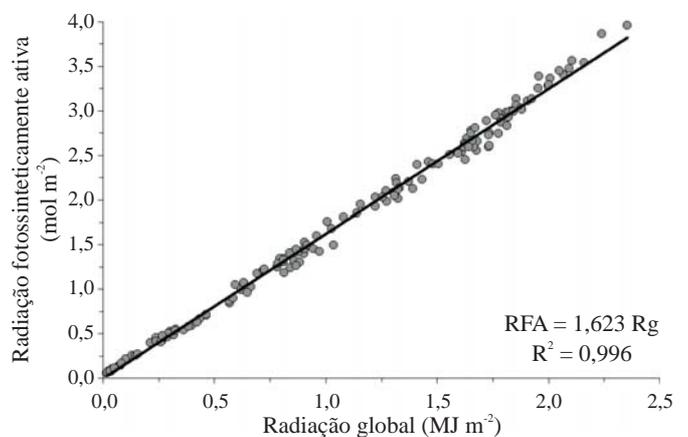


Figura 1. Relação entre os valores horários da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e da radiação global (Rg) medidos no interior de um ambiente protegido, no período compreendido entre as 1ª e 13ª semanas após o transplante do tomateiro em substrato de areia, em Viçosa, MG, no ano de 2003

A inclinação da reta de regressão ($1,623 \text{ mol MJ}^{-1}$), que representa o valor da razão entre a RFA e a Rg, é inferior à constatada por Frisina (2002) em Botucatu, SP, que, cultivando pimentão (*Capsicum annuum* L.) em solo desnudo, sob condições de ambiente protegido coberto com filme plástico de polietileno de $100 \mu\text{m}$, obteve uma razão RFA/Rg média de $2,059 \text{ mol MJ}^{-1}$. Pezzopane et al. (2004) também encontraram valores elevados da razão RFA/Rg, os quais foram obtidos na localidade de Alegre, ES, no período de setembro a

dezembro, que compreende parte do período chuvoso na região sudeste. Os referidos autores verificaram que a razão RFA/Rg foi 2,06 mol MJ⁻¹ no ambiente externo enquanto que, sob tela plástica, houve diminuição para o valor de 1,97 mol MJ⁻¹, indicando um decréscimo dessa razão em ambientes protegidos.

Medições conduzidas em estações meteorológicas mostram que a razão RFA/Rg sofre influência marcante das condições meteorológicas reinantes e do clima local. Finch et al. (2004) relatam variações de 1,778 a 2,414 mol MJ⁻¹ da razão RFA/Rg. Os maiores valores foram observados no período chuvoso, enquanto os valores mínimos ocorreram quando predominaram condições de ausência de nebulosidade e foram agravados no período de queima de biomassa. Este período é notório em regiões que promovam a renovação de pastagens por meio de queimadas ou são caracterizadas pela ocorrência de incêndios florestais. Os resultados de Finch et al. (2004) estão de acordo com os obtidos no presente experimento, o qual foi conduzido durante a estação seca, em Viçosa, MG, quando ocorre a queima clandestina de grandes áreas de pastagens.

Em ambiente protegido, Gimenez et al. (2002) observaram que a RFA diminui de 85 para 65% dependendo da acumulação de poeira sobre a superfície externa e da condensação de vapor d'água na superfície interna do material de cobertura da casa-de-vegetação. De acordo com Scarascia-Mugnozza et al. (2004), outro fator que poderia explicar a baixa proporção da RFA em relação à Rg, é a redução acentuada da RFA transmitida em relação à radiação infravermelha, a medida em que aumenta o tempo de exposição do filme plástico à radiação solar. No presente experimento, considerando-se o momento do transplante das mudas do tomateiro como referencial, o material plástico de cobertura já tinha sido exposto previamente à radiação solar pelo tempo de 12 meses contínuos.

A variabilidade da razão RFA/Rg e das curvas de distribuição da RFA e da Rg ao longo do período diurno, em escala horária, é mostrada na Figura 2. Cada ponto dessas curvas corresponde à média aritmética do conjunto de valores para um mesmo horário, referentes aos 13 dias selecionados durante o período compreendido entre as 1ª e 13ª semanas após

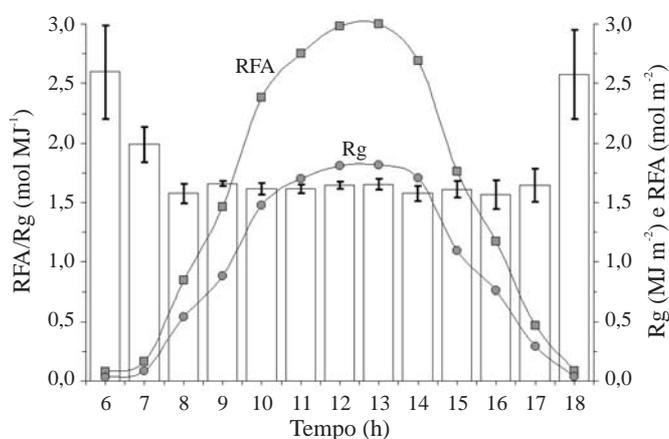


Figura 2. Variação média da razão RFA/Rg e das curvas da RFA e da Rg ao longo do período diurno. Os valores de radiação foram medidos no interior da casa-de-vegetação durante as 1ª e 13ª semanas após o transplante do tomateiro em substrato de areia, em Viçosa, MG, no ano de 2003

o transplante. De maneira idêntica, os topos das barras representam as médias aritméticas horárias dos valores da razão RFA/Rg. As barras de desvio padrão, associadas aos valores médios de RFA/Rg, indicam a dispersão dos dados.

Conforme se constata na Figura 2, o comportamento das curvas da RFA e da Rg indica que, para o período de cultivo em questão, os dias analisados apresentaram pouca nebulosidade. Quanto à variabilidade da razão RFA/Rg, verifica-se que os valores médios horários se mantiveram praticamente constantes, exceto no início e no final do período diurno, quando ocorreu uma nítida tendência de acréscimo, acompanhado de alta dispersão.

Segundo Rao (1984) as variações diárias da razão RFA/Rg podem ser justificadas com base nas alterações de magnitude e importância dos processos de absorção e de espalhamento da radiação solar global pelo vapor d'água nas distintas faixas do espectro. O vapor d'água condensado atenua a radiação em comprimentos de onda maiores que 0,7 μm por processos de absorção e espalhamento (de Vault & Ktsaros, 1983).

Apresentam-se, na Tabela 1, os valores diários da transmissividade do filme de polietileno à radiação solar global, obtidos a partir de medições de Rg internas e externas ao ambiente protegido. Adicionalmente, nas duas colunas seguintes são apresentadas as razões RFA/Rg, sendo que na segunda coluna desta tabela, se considera a RFA expressa em mol m² d⁻¹ e, na terceira coluna, a RFA é expressa em unidades de energia (MJ m² d⁻¹). É importante destacar que essas medições foram realizadas em uma casa-de-vegetação coberta com filme plástico de polietileno previamente exposto à radiação solar, durante 12 meses, sendo a irradiância solar fotossinteticamente ativa estimada com base no valor 4,57 mol MJ⁻¹, conforme proposto por McCree (1972). A razão RFA/Rg, calculada a partir das irradiâncias global e fotossinteticamente ativa, também é conhecida como razão de energia, sendo apresentada neste trabalho com propósito ilustrativo.

Tabela 1. Variação da transmissividade do filme plástico de polietileno (τ) à radiação solar global, da razão RFA/Rg e da razão de energia, durante o período compreendido entre as 1ª e 13ª semanas após o transplante do tomateiro em substrato de areia, em Viçosa, MG, no ano de 2003

Data - DAT	τ (%)	Razão RFA/Rg (mol MJ ⁻¹)	Razão de energia (adimensional)*
02/05/2003 - 07	82,9	1,691	0,370
09/05/2003 - 14	81,3	1,664	0,364
16/05/2003 - 21	84,1	1,680	0,368
23/05/2003 - 28	80,9	1,676	0,367
30/05/2003 - 35	87,7	1,632	0,357
06/06/2003 - 42	85,9	1,622	0,355
13/06/2003 - 49	74,3	1,623	0,355
20/06/2003 - 56	77,6	1,597	0,350
27/06/2003 - 63	63,4	1,574	0,344
04/07/2003 - 70	75,6	1,586	0,347
11/07/2003 - 77	77,9	1,587	0,347
18/07/2003 - 84	78,2	1,587	0,347
25/07/2003 - 91	76,2	1,571	0,344
Média Aritmética	79,0	1,622	0,355
Desvio Padrão	6,2	0,043	0,009

* Valores convertidos pelo fator de conversão 4,57 mol MJ⁻¹ proposto por McCree (1972)

Comparando-se o valor da razão RFA/Rg, determinado por meio de partição horária (Figura 1), com o valor médio de RFA/Rg, obtido em partição diária (Tabela 1), verifica-se que os mesmos são aproximadamente iguais. De maneira geral e se analisando tanto os valores de transmissividade quanto os da razão RFA/Rg apresentados na Tabela 1, é possível notar que ocorreram reduções nítidas desses valores durante o período experimental. A razão RFA/Rg sofreu um decréscimo de 1,691 para 1,574 mol MJ⁻¹, no período compreendido entre as 1ª e 9ª semanas após o transplante e se manteve praticamente estável, oscilando entre 1,571 e 1,587 mol MJ⁻¹ entre as 9ª e 13ª semanas.

Muitos estudos científicos foram realizados no Brasil com a finalidade de se determinar a transmissividade do filme plástico de polietileno à radiação solar (Frisina, 2002; Camacho et al., 1995; Farias et al., 1993). Nestes estudos, a transmissividade do filme plástico estava compreendida entre 73 e 83% e, portanto, de acordo com os valores obtidos no presente trabalho, que variaram de 76 a 83% (Tabela 1). Conforme Tuller & Peterson (1988), a transmissividade do material de cobertura à radiação solar depende de suas características químicas e físicas, condições atmosféricas, ângulo de incidência dos raios solares, condensação no interior da superfície de cobertura, tempo de exposição às condições ambientais e deposição de partículas sólidas, como poeira e fuligem.

Em parte, as diminuições da transmissividade e da razão RFA/Rg, observadas no presente trabalho, podem ser explicadas pela deposição de fuligem sobre o material plástico de cobertura, pois nesta época do ano (período seco) a concentração desses aerossóis no ar, provenientes de queimadas de pastagens na região, aumenta consideravelmente. Por outro lado, os resultados obtidos indicam influência da expansão foliar da cultura, a qual afeta as reflexões múltiplas dos diferentes comprimentos de onda da radiação solar no interior do ambiente de cultivo. No início do ciclo da cultura, o coeficiente de reflexão da radiação solar é determinado basicamente pelo substrato e pela pedra britada usada para cobrir a superfície do solo da casa-de-vegetação. Com o crescimento da cultura, porém, ocorre sombreamento da brita e do substrato, afetando a razão RFA/Rg.

Ilustra-se, na Figura 3, a variação da Rg medida na estação meteorológica automática no ambiente externo e a alteração correspondente da razão RFA/Rg no interior do ambiente protegido, totalizados ao longo do período diurno. Os valores medidos se referem ao período compreendido entre a 13ª semana após o transplante e o final do experimento (92 a 146 DAT). Na mesma figura foram ressaltados os valores da razão RFA/Rg para dois dias nublados, quando é nítida a influência das condições meteorológicas na fração de RFA presente no espectro da radiação solar global. Com a redução de Rg devido à nebulosidade, houve acréscimos expressivos e imediatos da razão RFA/Rg, a qual alcançou valores de 1,93 e 2,07 mol MJ⁻¹ dentro do ambiente protegido, para 108 e 123 DAT, respectivamente. Com a ausência de nebulosidade, os valores da RFA/Rg oscilaram dentro da faixa de 1,5 a 1,6 mol MJ⁻¹.

Na Figura 4 são mostrados os valores medidos e estima-

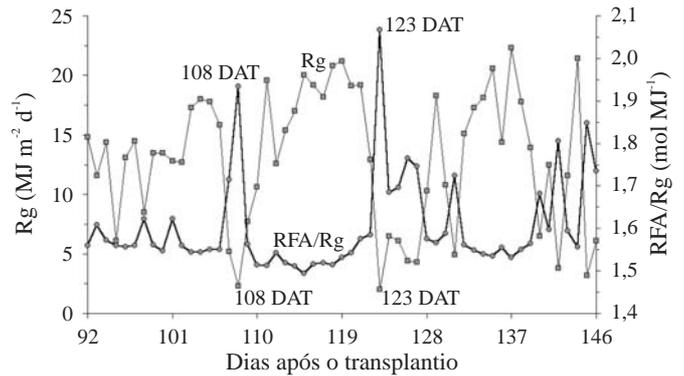


Figura 3. Variação da radiação solar global, medida na estação meteorológica automática, situada no ambiente externo, e alteração correspondente da razão RFA/Rg no interior do ambiente protegido cultivado com tomate em substrato de areia, em Viçosa, MG, no ano de 2003. Os valores medidos se referem ao período compreendido entre a 13ª semana após o transplante e o final do experimento (92 a 146 DAT)

dos da RFA. Os valores de Rg e de RFA, totalizados para intervalos de 3 h, foram usados para validação dos dois métodos para estimativa da radiação fotossinteticamente ativa. No método A se utilizaram o valor médio da razão RFA/Rg, calculado entre as 1ª e 13ª semanas após o transplante, e os valores medidos da Rg no interior do ambiente protegido. No método B, foram usados os valores da Rg medidos na estação meteorológica, assim como a transmitância média do polietileno à radiação solar, obtidos entre as 1ª e 13ª semanas, e o fator de conversão 2 mol MJ⁻¹, sugerido por González & Calbó (2002).

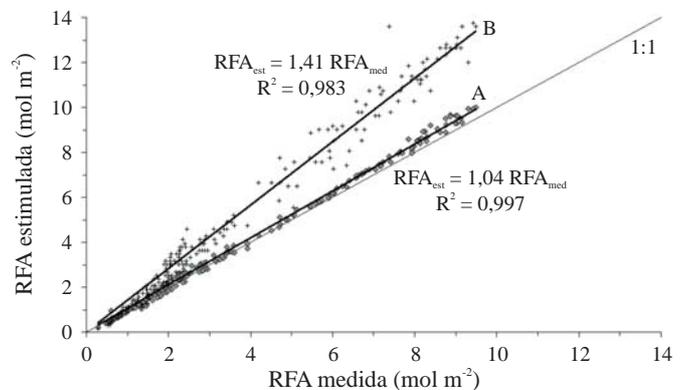


Figura 4. Validação das estimativas da RFA, integradas em períodos de 3 h, com base na multiplicação da Rg medida no interior do ambiente protegido pelo valor médio da razão RFA/Rg (método A), e a partir da multiplicação do valor médio da transmitância à radiação solar global pela Rg medida na estação automática e pelo fator de conversão 2 mol MJ⁻¹ (método B), em Viçosa, MG, no ano de 2003

Como se nota na Figura 4, as estimativas de RFA obtidas a partir dos métodos A e B superestimaram os valores reais de RFA medidos pelo sensor quântico; no método A, este resultado pode ser explicado pelo efeito da inclusão de valores mais elevados da RFA/Rg das primeiras semanas de cultivo (1ª a 9ª semanas), demonstrando o efeito da própria cultura na RFA medida no ambiente de cultivo; no método B, observa-se nitidamente que a adoção de alternativas simples para a estimativa da RFA em ambientes protegidos pode

resultar em superestimativas excessivas da RFA, ou seja, de 41%. Outro fato que se pode destacar é a maior dispersão dos dados medidos na estação automática em razão aos valores medidos no interior do ambiente protegido.

CONCLUSÕES

1. O valor médio da razão RFA/Rg ($1,623 \text{ mol MJ}^{-1}$), determinado na estação seca em Viçosa, MG, foi menor que os obtidos em diferentes localidades do Brasil para condições de cultivo em ambiente protegido.

2. A razão RFA/Rg sofreu variações no interior da casa-de-vegetação durante o ciclo do tomateiro cultivado em substrato de areia. Quando ocorreu alternância de condições de céu claro para dias nublados após a 13ª semana, a razão RFA/Rg sofreu aumentos expressivos, alcançando valores próximos dos obtidos em outras localidades do Brasil.

3. Estimativas da RFA no interior de ambientes protegidos utilizando-se alternativas simplificadas, podem resultar em erros de até 41% em relação aos valores medidos da RFA.

LITERATURA CITADA

- Alados, I.; Alados-Arboledas, L. Direct and diffuse photosynthetically active radiation: measurements and modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.93, p.27-38, 1999.
- Buriol, G. A.; Streck, N. A.; Petry, C. Transmissividade à radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. *Ciência Rural*, v.25, p.1-4, 1993.
- Camacho, M. J.; Assis, F. N.; Martins, S. R.; Mendez, M. E. G. Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em Pelotas, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.3, p.19-24, 1995.
- Cockshull, K. E.; Graves, C. J.; Cave, C. R. J. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science*, v.67, p.11-24, 1992.
- de Vault, J. E.; Ktsaros, K. B. Remote determination of cloud liquid water path from bandwidth – limited shortwave measurements. *Journal of Atmospheric Sciences*, v.40, p.665-85, 1983.
- Farias, J. R. B.; Bergamaschi, H.; Martins, S. R.; Berlatto, M. A. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.1, p.31-36, 1993.
- Finch, D. A.; Bailey, W. G.; McArthur, L. J. B.; Nasitwitwi, M. Photosynthetically active radiation regimes in a southern African savanna environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.122, p.229-238, 2004.
- Frisina, V. A. Modelagem das radiações global, difusa e fotossinteticamente ativa em ambiente protegido e suas relações com o crescimento e produtividade da cultura de pimentão (*Capsicum annuum* L.). Botucatu: UNESP, 2002. 177p. Tese Doutorado
- Gimenez, C.; Otto, R. F.; Castilla, N. Productivity of leaf and root vegetable crops under direct cover. *Scientia Horticulturae*, v.94, p.1-11, 2002.
- González, J. A.; Calbó, J. Modelled and measured ratio of PAR to global radiation under cloudless skies. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.110, p.319-25, 2002.
- Guiselini, C.; Sentelhas, P. C.; Oliveira, R. C. Uso de malhas de sombreamento em ambiente protegido – II: Efeito sobre a radiação solar global e a fotossinteticamente ativa. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.12, n.1, p.19-26, 2004.
- Kittas, C.; Baille, A.; Giaglaras, P. Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.73, p.341-51, 1999.
- McCree, K. J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agricultural Meteorology*, v.10, p.443-53, 1972.
- Papadopoulos, A. P.; Hao, X. Effects of three greenhouse cover materials on tomato growth, productivity, and energy use. *Scientia Horticulturae*, v.70, p.165-78, 1997.
- Pezzopane, J. E. M.; Oliveira, P. C.; Reis, E. F.; Lima, J. S. S. Alterações microclimáticas causadas pelo uso de tela plástica. *Engenharia Agrícola*, v.24, n.1, p.9-15, 2004.
- Pollet, I. V.; Pieters, J. G. PAR transmittances of dry and condensate covered glass and plastic greenhouse cladding. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.110, p.285-98, 2002.
- Rao, C. R. N. Photosynthetically active components of global solar radiation: measurements and model computations. *Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology*, v.34, p.353-64, 1984.
- Scarascia-Mugnozza, G.; Schettini, E.; Vox, G. Effects of solar radiation on the radiometric properties of biodegradable films for agricultural applications. *Biosystems Engineering*, v.87, n.4, p.479-87, 2004.
- Steidle Neto, A. J.; Ribeiro, A.; Zolnier, S.; Leite, F. P. Variabilidade sazonal da relação entre a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação global na Bacia do Rio Doce, Estado de Minas Gerais. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.28, n.3, p.427-31, 2006.
- Tei, F.; Scaife, A.; Aikman, D. P. Growth of lettuce, onion and red beet. 1. Growth analysis, light interception, and radiation use efficiency. *Annals of Botany*, v.78, p.633-43, 1996.
- Tuller, S. E.; Peterson, M. J. The solar radiation environment of greenhouse grown Douglas-fir seedlings. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.44, p.49-65, 1988.