

ISSN 0104-1347

## Medidas e estimativa do albedo em cultura de pepineiro cultivado a campo e em ambiente protegido<sup>1</sup>

### Measures and estimate of albedo in cucumber crop cultivated inside and outside greenhouse

Emerson Galvani<sup>2</sup>, João Francisco Escobedo<sup>3</sup>, André Belmont Pereira<sup>4</sup> e Claudia Jacondino de Campos<sup>5</sup>

**Resumo** - Esse trabalho teve por objetivo quantificar ao longo do ciclo da cultura de pepineiro cultivado a campo e em ambiente protegido, em ciclos de outono-inverno e primavera-verão, as irradiações global e refletida e a partir destas determinar o albedo da cultura, assim como, apresentar método de estimativa do albedo em função de dias após o transplantio. Os resultados obtidos permitiram concluir que o albedo médio da cultura de pepineiro em cultivo de outono-inverno foi 15,6 e 17,6% para as condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente. Em cultivos de primavera-verão o albedo médio foi de 20,6% para o ambiente protegido e 17,7% para a condição externa. A variação do albedo da cultura do pepineiro cultivado em ciclo de primavera-verão foi função do índice de área foliar e o mesmo pode ser estimado em função do número de dias após o transplantio, fazendo uso do modelo de Gauss.

**Palavras-chave:** albedo, *Cucumis sativus* L., ambiente protegido.

**Abstract** - The aim of the current work was to quantify throughout the cycle of a cucumber crop grown at greenhouse and external conditions, during the winter and summer seasons, global and reflected solar radiation flux densities, as well as from such measurements to determine the albedo of the crop and suggest estimative method for assessing the reflection coefficient as a function of the number of days after transplant. The obtained results from the current research allowed us to conclude that the mean albedo of cucumber crop grow fall-winter time was of 15.6% and 17.6 for protected environmental and external conditions, respectively. The cucumber's albedo obtained during winter-summer season has assumed a mean value of 20.6% for protected environmental and 17.7% for external conditions. The variation of the albedo of the cucumber crop cultivated in summer cycle was function of the leaf area index. The albedo of the cucumber culture in summer cycle can be known in function of the number of days after the plantation, making use of the model of Gauss.

**Key words:** albedo, *Cucumis sativus* L., polyethylene greenhouses.

#### Introdução

Parte da radiação solar direta e difusa incidente sobre uma superfície é refletida, para a atmosfera, na forma de ondas curtas. A radiação solar refletida depende do coeficiente de reflexão, também cha-

mado de reflectância ou albedo da superfície. O saldo de radiação solar de ondas curtas representa para determinado meio, a disponibilidade de energia solar que após contabilizada a emissão de ondas longas para a atmosfera e a contra-irradiação pelas nuvens e a atmosfera, representará a energia disponível para os

<sup>1</sup>Parte de Tese de Doutorado do primeiro autor.

<sup>2</sup>Geógrafo, Pós-graduando em Energia na Agricultura, Departamento de Recursos Naturais – FCA/UNESP, Botucatu-SP, Bolsista FAPESP (96/08974-7), e-mail: [galvani@fca.unesp.br](mailto:galvani@fca.unesp.br)

<sup>3</sup>Prof. Livre Docente Departamento de Recursos Naturais – FCA/UNESP, C.E.P. 18603-970, Botucatu-SP, e-mail: [escobedo@fca.unesp.br](mailto:escobedo@fca.unesp.br)

<sup>4</sup>Prof. Dr. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UEPG-PR, e-mail: [abelmont@uepg.br](mailto:abelmont@uepg.br)

<sup>5</sup>Prof. Dra. Departamento de Meteorologia, UFPel, e-mail: [cjcampos@ufpel.tche.br](mailto:cjcampos@ufpel.tche.br)

processos físicos, químicos e fisiológicos que nesse meio ocorrem. Assim, o saldo de radiação solar de ondas curtas representa a fonte primária de energia para um meio vegetal qualquer.

A energia utilizada nos processos de aquecimento do ar e do solo, de transferência de água na forma de vapor para a atmosfera e do metabolismo de plantas e animais, é proveniente da radiação solar. Portanto, é importante o conhecimento da partição dos componentes do balanço de radiação solar à superfície, principalmente a radiação solar global e refletida (ALVES *et al.*, 1998).

O albedo sobre determinada superfície está relacionado com o tipo de cobertura do solo e da sua umidade, da espécie vegetal cultivada, do arranjo foliar, do ângulo de incidência dos raios solares (época do ano e hora do dia) e tipo (direta, difusa e global) e da quantidade de irradiância (STANHILL *et al.*, 1968; BLAD & BAKER, 1972; LEITÃO *et al.*, 1990).

No início do ciclo de uma cultura, o albedo é principalmente determinado pelas características óticas do solo, modificadas principalmente pelo conteúdo de umidade da sua superfície. No restante do ciclo o albedo é principalmente determinado pelas propriedades óticas da cultura (JACOBS *et al.* 1990).

Valores típicos de albedo são apresentados por DAVIES & BUTTIMOR (1969), para solo nudo e culturas de milho, tomate, trigo, pepino, fumo e grama. Ainda esses autores encontraram diferenças entre os valores médios de albedo em função do método de obtenção, ou seja, a partir de médias horárias e a partir do coeficiente angular da curva de regressão entre radiação solar global e a radiação solar refletida. BLAD & BAKER (1972), ANDRE & VISWANADHAN (1983) e LEITÃO *et al.* (1990) apresentam curvas de albedo obtido sobre cultura de soja; AZEVEDO *et al.* (1997) em videira e ASSIS & ESCOBEDO (1996) em cultura de alface.

Geralmente em estudos sobre modelagem de crescimento e estimativas de evapotranspiração de culturas os valores de albedo são considerados constantes ao longo de todo o ciclo, fato que pode não ser verdadeiro dependendo do tipo de cultura, levando assim a erros no desenvolvimento e validação de modelos, assim como, em cálculos de lâmina de água sub/super estimados com conseqüentes perdas de produtividade em função do manejo inadequado da irrigação.

O objetivo do presente trabalho foi quantificar ao longo do ciclo da cultura de pepineiro cultivado a campo e em ambiente protegido, em ciclos de outo-

no-inverno e primavera-verão, a radiação solar global e radiação solar refletida e a partir destas determinar o albedo da cultura, assim como, apresentar métodos de estimativa do albedo em função de dias após o transplante.

## Material e métodos

O experimento foi desenvolvido junto ao Departamento de Recursos Naturais, FCA, UNESP, Campus de Botucatu, SP (latitude: 22°51'S, longitude: 48°26'W e altitude: 786m), constituído de uma parcela interna: estufa, túnel alto coberta com polietileno de 100µm de espessura com laterais de tela plástica com 50% de atenuação da radiação solar e, outra parcela externa, ambas com dimensões de 7 x 40m cultivadas com cultura de pepino, variedade Hokuho, tipo salada e de crescimento indeterminado, conduzidas em período de outono-inverno (13/05/98 a 10/09/98) e primavera-verão (10/11/98 a 10/02/99). O sistema de condução da cultura em ambos os ambientes foi do tipo espaldeira dupla com espaçamento de 0,7m e 1,80 de altura. Nos canteiros, o espaçamento entre plantas na linha foi de 0,3m e de 0,7m entre linhas representando um total de 1.332 plantas em cada ambiente.

Para o cultivo de outono-inverno, em ambiente protegido e condição de campo, após os resultados da análise química do solo, procedeu-se a correção à base de 2.250kg.ha<sup>-1</sup> de Calcário Dolomítico (PRNT 100) e adubação com 115g.m<sup>-2</sup> de Termofosfato com Boro e Zinco, 45g.m<sup>-2</sup> de Superfosfato Triplo e 30g.m<sup>-2</sup> de Cloreto de Potássio. Adicionou-se também matéria orgânica a base de esterco bovino a proporção de aproximadamente 6 kg.m<sup>-2</sup> de canteiro. Até a colheita dos primeiros frutos efetuou-se a cobertura com 5,0 a 7,5g de Nitrato de Cálcio e 1 a 2g de Nitrato de Potássio por planta, após a colheita dos primeiros frutos de 10 a 15g de Nitrato de Cálcio e 2 a 5g de Nitrato de Potássio. A maior dosagem foi aplicada quando o crescimento apresentava-se reduzido (internódio curto, cor das folhas verde amarelada), a menor dosagem quando a planta apresentava crescimento excessivo (cor da folha verde escuro).

No período de primavera-verão, em ambiente protegido, utilizou-se, no preparo de canteiros 3kg.m<sup>-2</sup> de esterco de curral curtido. Para adubação de plantio utilizou-se 60g.m<sup>-2</sup> de Termofosfato Magnésiano, 10g.m<sup>-2</sup> de Cloreto de Potássio, 10g.m<sup>-2</sup> de Sulfato de Amônia e 10g.m<sup>-2</sup> de FTE BR9. Após dez dias do transplante aplicou-se 2,0g de Nitrato de Potássio e 6,0g de Nitrato de Cálcio por planta, semanalmente. Na condição de campo, aplicou-se

1,3t.ha<sup>-1</sup> de calcário, além da adubação recomendada para o ambiente protegido. No início da maturação dos frutos, aumentou-se a dose de aplicação de Nitrato de Potássio para 4,0g por planta por semana.

A irrigação foi realizada através de fitas gotejadoras, com pressão de trabalho de 5m.c.a. e vazão de 1litro.h<sup>-1</sup> por metro linear de gotejador. O espaçamento entre gotejadores foi de 0,30m na linha e disposto ao lado da linha de plantio. O controle da irrigação foi efetuado através de lisímetros de nível de lençol freático instalados em ambiente protegido e na condição de campo. O tempo de aplicação da lâmina de irrigação foi calculado em função da vazão e do tempo e pode ser descrito pela seguinte equação:

$$t = 9,461 L$$

sendo t o tempo de irrigação (minutos) e L a lâmina (litros)

Semanalmente, determinou-se a área foliar (m<sup>2</sup> de folha por planta) e o índice de área foliar (IAF) com um medidor de área foliar modelo Licor 3000. Foram coletadas duas plantas dentro e fora da área protegida, cujo IAF foi obtido a partir da relação:

$$IAF = (AF.NP)/AT$$

em que AF é a área foliar média de duas plantas (m<sup>2</sup>); NP o número de plantas por metro quadrado e AT é a área total considerada (1 m<sup>2</sup>).

Quantificou-se a radiação solar global e refletida, com auxílio de quatro piranômetros sendo dois piranômetros montados a 2,2m de altura com os sensores voltados para o dossel da cultura (ambiente protegido e condição de campo) determinando a componente refletida de ondas curtas. Ao final do ciclo os sensores encontravam-se a, aproximadamente, 0,4m acima do dossel da cultura.

A partir de valores de irradiância global ( $G_{\downarrow}$ ) e refletida ( $R_{\uparrow}$ ) determinou-se o albedo instantâneo da superfície ( $\alpha$ ) com a seguinte relação:

$$a = \frac{R_{\uparrow}}{G_{\downarrow}} \quad (1)$$

O albedo médio para determinado dia com n observações foi obtido com leituras efetuadas entre 8 e 16h, a partir da média das leituras em intervalos de cinco minutos, da seguinte forma:

$$a = \sum_{i=8h}^{16h} \left( \frac{R_{\uparrow}}{G_{\downarrow}} \right)_i * \frac{1}{n} \quad (2)$$

A partir das curvas de albedo ao longo do ciclo da cultura do pepineiro ajustaram-se as seguintes equações com distribuição normal segundo a curva de Gauss:

Ciclo de outono-inverno (condição de campo):

$$y = a + b \cdot \exp \left( -0,5 \cdot \left( \frac{x-c}{d} \right)^2 \right) \quad (3)$$

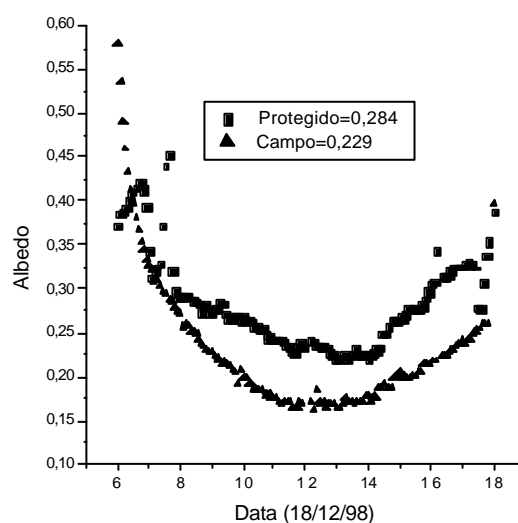
e, ciclo de primavera-verão (ambiente protegido e a campo) e ciclo de outono-inverno (ambiente protegido):

$$y = a + b \cdot \exp \left( -0,5 \cdot \left( \frac{x-c}{d} \right)^2 \right) \quad (4)$$

em que a variável x representa o número de dias após o transplante (DAT), a variável y o albedo médio diário da cultura ao longo do ciclo, e a, b, c, d, e e os coeficientes da equação. A proporção total explicada pela regressão não linear foi avaliada em função do coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>).

## Resultados e discussão

A Figura 1 mostra a variação do albedo instantâneo para o pepineiro na data de 18/12/98 (ausência de nuvens). Observa-se nas primeiras horas e no final do dia valores elevados de albedo, o que é explicado pelo fato dos raios solares nesses horários



**Figura 1** - Variação do albedo instantâneo para a cultura do pepineiro cultivado em ambiente protegido e campo no dia de 18/12/98, em Botucatu, SP.

incidirem na superfície com ângulo próximo a 90° em relação à normal do local, ou seja, praticamente tangente à superfície, aumentando, desse modo, a fração da energia solar incidente que é refletida pela cobertura do solo. Para este dia o albedo médio foi 28,4 e 22,9% para as condições de ambiente protegido e campo, respectivamente. BLAD & BAKER (1972) em cultura de soja e AZEVEDO *et al.* (1990) em culturas de soja, feijoeiro, meloeiro e algodoeiro obtiveram curvas diárias instantâneas semelhantes. Ainda, esses autores apresentam modelos de estimativa do albedo em função do ângulo de elevação solar, obtendo para o subperíodo de completo desenvolvimento da cultura do meloeiro um modelo polinomial com coeficientes de determinação de 99%.

O albedo médio ao longo do ciclo da cultura de pepineiro no período de outono-inverno foi de 15,6 e 17,6% para a condição interna e externa, respectivamente. O albedo para as plantas cultivadas no interior do ambiente protegido variou entre o mínimo de 11% no início do ciclo quando as plantas cobriam fração pequena do solo a 19,5% quando apresentou índice de área foliar (IAF) de 5,32 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>. Para a condição a campo, o albedo variou entre o mínimo de 11% e o máximo de 25% quando o IAF encontrava-se em 2,32.

A Figura 2a mostra a variação do IAF avaliado semanalmente em função da idade da planta e as Figuras 2b e 2c a variação do albedo nas condições interna e externa. Observa-se que no início do ciclo os valores de albedo foram relativamente baixos e com o desenvolvimento da cultura e conseqüente aumento da área foliar esses tenderam a aumentar até a 8ª semana após o transplante (10/07/98). Contudo, quando a planta atingiu 1,80m de altura os valores de albedo tenderam a diminuir. Isto pode ser explicado pelo fato da própria estrutura da cultura impedir a reflexão de parte da irradiância direta, visto que, a cultura não formou um dossel homogêneo, apresentando entre os canteiros uma faixa de solo nu. Outro fator que contribuiu para a diminuição da reflexão pela cultura foi a manifestação de pragas (pulgão) e doenças (oídio) que tenderam a prejudicar em parte o crescimento da planta, determinando também escurecimento das folhas. Além disso, deve-se considerar que a cultura com este porte encontrava-se em plena atividade metabólica, fato que contribuiu para o aumento da densidade de folhas com coloração mais intensa dado pelo acúmulo de pigmentos fotossintetizados neste subperíodo de desenvolvimento e, conseqüentemente, para a redução significativa da reflexão da radiação solar global.

Na Tabela 1 encontram-se os parâmetros das curvas apresentadas nas Figura 2b e 2c.

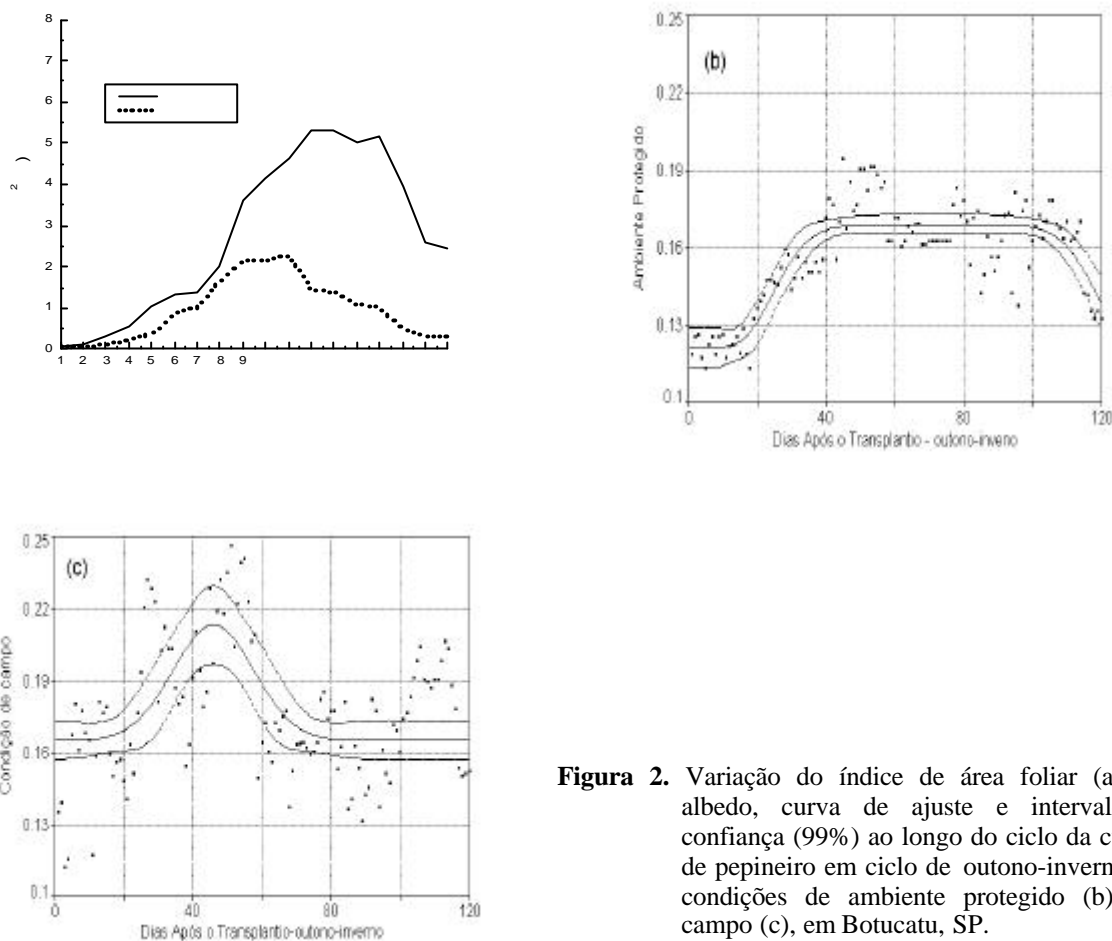
A Figura 2b mostra a variação dos valores médios de albedo medida e ajustada ao longo do ciclo da cultura de pepino, sob condição de ambiente protegido. Observa-se através da curva ajustada tendência de aumento nos valores de albedo até o 37º dia após o transplante, mantendo-se constante até o 97º DAT (dias após o transplante), quando tende a diminuir até o final do ciclo da cultura. Essa variação da curva ajustada pode ser melhor explicada observando-se a curva do IAF ao longo do ciclo da cultura (Figura 2a), a partir da formação do dossel da cultura os valores de albedo tenderam a manterem-se constantes (curva ajustada) independente do aumento do IAF.

A Figura 2c mostra a curva medida (pontos) e ajustada (linha central) para o cultivo a campo. Observa-se que o aumento dos valores de albedo está condicionado a incrementos de IAF até atingir valor máximo (curva ajustada) no 47º DAT, quando a partir desta data o albedo diminui em função da depleção do IAF e do escurecimento das folhas. A partir do 73º dia até o final do ciclo, o albedo representava praticamente a reflexão do solo nu, uma vez que a área foliar cobria fração pequena do solo. A grande variação dos valores de albedo medidos na condição de campo podem ser justificados pelo fato do sistema de condução da cultura ter sido tutorado com espaldeira dupla que apresentava certa mobilidade lateral em função da intensidade e direção do vento, assim, em determinados dias uma fração maior do solo era exposto, diminuindo os valores de albedo. Esse fato não ocorreu no ambiente protegido e no ciclo de primavera-verão (ambiente protegido e a campo) devido ao elevado valor do índice de área foliar que formou um dossel único não expondo no período de máximo crescimento vegetativo fração nenhuma do solo.

As curvas ajustadas descrevem bem a variação teórica do albedo ao longo do ciclo da cultura, contudo, os coeficientes de determinação apresentaram baixos valores, principalmente em condição de campo ( $r^2=0,34$ ), devendo assim ser evitado o uso deste método.

O ciclo de primavera-verão apresentou taxas de crescimento mais constante representando melhor as curvas de albedo tanto no ambiente protegido quanto a campo. Em termos médios, o albedo foi de 20,6 e de 17,7% para as condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente.

Na Figura 3a observa-se a variação do índice de área foliar e nas Figuras 3b e 3c as curvas de albedo medido e ajustado pelos modelos propostos. No início do ciclo, entre os dias 05 a 10/11/99, o albedo



**Figura 2.** Variação do índice de área foliar (a), do albedo, curva de ajuste e intervalo de confiança (99%) ao longo do ciclo da cultura de pepineiro em ciclo de outono-inverno nas condições de ambiente protegido (b) e a campo (c), em Botucatu, SP.

medido representava somente o solo nú. A partir de 11/01/98 a cultura foi transplantada quando pode-se então monitorar a medida do albedo ao longo do ciclo, atingindo, valores máximos em 24/12/98 da ordem de 29,6% sob condição interna e de 23,8% em 01/01/99 sob condição externa. Este atraso na data de ocorrência do valor máximo de albedo deve-se ao menor crescimento das plantas e da área foliar em condição de campo.

Relacionando o albedo através dos modelos propostos na metodologia, obtiveram-se os coeficientes apresentados na Tabela 2.

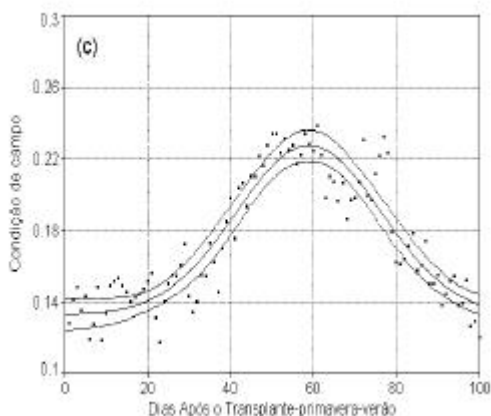
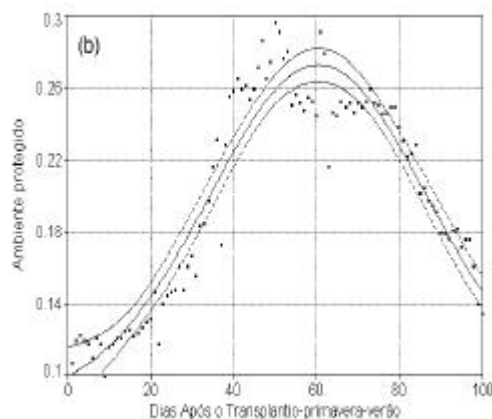
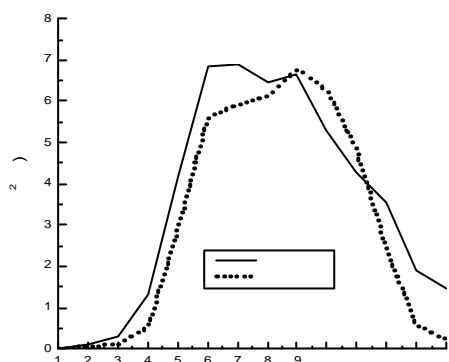
**Tabela 2.** Coeficientes obtidos para o pepineiro cultivado em ciclo de primavera-verão nas condições de ambiente protegido e a campo, 1998/1999, Botucatu, SP.

	Coeficientes				
	a	b	c	d	r <sup>2</sup>
Ambiente protegido	0,0857	0,186	60,427	26,339	0,91
Condição de campo	0,132	0,0949	58,8970	17,453	0,85

## Conclusões

A variação do albedo da cultura do pepineiro cultivado em ciclo de primavera-verão em ambiente protegido e a campo é função do índice de área foliar.

O albedo da cultura de pepineiro em ciclo de primavera-verão pode ser estimado em função do número de dias após o transplante, fazendo uso do modelo de Gauss.



**Figura 3** Variação do índice de área foliar (a), do albedo, curva de ajuste e intervalo de confiança (99%) ao longo do ciclo da cultura de pepineiro em ciclo de primavera-verão nas condições de ambiente protegido (b) e a campo (c), em Botucatu, SP.

## Agradecimentos

O primeiro autor agradece à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelos recursos financeiros concedidos por intermédio do processo 96/08974-7.

## Referências bibliográficas

ALVES, A.V., AZEVEDO, P.V. de., SILVA, B.B. da. Balanço de energia e reflectância de um cultivo de melão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 139-146, 1998.

ANDRÉ, R.G.B., VISWANADHAN, Y. Radiation balance of soybeans grown in Brazil. **Agricultural Meteorology**, Armsterdan, v. 30, p. 150-173, 1983.

ASSIS, S.V. de., ESCOBEDO, J.F. Avaliação do albedo na cultura de alface (*Lactuca Sativa*, L.) em estufas nas orientações norte-sul e leste-oeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9., 1996, Campos do Jordão, SP. **Anais...** Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1996. 1499 p. p. 357-360.

AZEVEDO, P.V. de., LEITÃO, M.M.V.B.R., SOUZA, I.F. et al. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 403-410, 1990.

**Tabela 2.** Coeficientes obtidos para o pepineiro cultivado em ciclo de primavera-verão nas condições de ambiente protegido e a campo, 1998/1999, Botucatu, SP.

	Coeficientes				
	a	b	c	d	r <sup>2</sup>
Ambiente protegido	0,0857	0,186	60,427	26,339	0,91
Condição de campo	0,132	0,0949	58,8970	17,453	0,85

- AZEVEDO, P.V. de., TEIXEIRA, A.H. de C., SILVA, B.B. da. Avaliação da reflectância e do saldo de radiação sobre um cultivo de videira européia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 1-7, 1997.
- BLAD, L.B., BAKER, D.G. Reflected radiation from a soybean crop. **Agronomy Journal**, Madison, v. 6, p. 277-281, 1972.
- DAVIES, J.A., BUTTIMOR, P.H. Reflection coefficients, heating coefficients and net radiation at Simcoe, Southern Ontario. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 6, p. 373-386, 1969.
- FRITSCHEN, L.J. Net and solar radiation relations over irrigated field crops. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 4, p. 55-63, 1967.
- JACOBS, A.F.G., VAN PUL, W.A.J. Seasonal changes in the albedo of the maize crop during two seasons. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 49, p. 351-360, 1990.
- LEITÃO, M.M.V.R., AZEVEDO, P.V. de., COSTA, J.P.R. da. Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6., 1990, Salvador-BA, **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Meteorologia, p. 27-32, 1990.
- STANHILL, G., COX, J.T.H., MORESHET, S. The effect of crop and climate factors on the radiation balance of an irrigated maize crop. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 5, p. 707-720, 1968.