

ISSN 0104-1347

## Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura da abóbora italiana em estufa plástica<sup>1</sup>

### Maximum evapotranspiration and crop coefficient of squash under plastic greenhouse conditions

Luciano Streck<sup>2</sup>, Arno Bernardo Heldwein<sup>3</sup>, Galileo Adeli Burio<sup>3</sup>, Genei Antonio Dalmago<sup>4</sup>, Gustavo Trentin<sup>5</sup> e Sandro Wilsmann<sup>5</sup>

**Resumo** - Determinou-se a evapotranspiração máxima diária e o coeficiente de cultura para a abóbora italiana (*Cucurbita pepo* L.) cultivar caserta, em ambiente de estufa plástica. O trabalho foi realizado numa estufa com largura de 10 m, comprimento de 24 m e ventilação natural, localizada na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no período de 01/03/2001 à 10/05/2001. As plantas foram cultivadas em fileiras pareadas, sendo as fileiras pares de plantas distanciadas 0,80 m entre si e em cada lado destas uma fileira de bordadura, distanciada 1,50 m. A evapotranspiração máxima foi obtida por dois métodos: pelo balanço hídrico do solo, a partir da determinação da umidade do solo com tensiômetros nos minilysímetros de drenagem com solo e pela utilização de lisímetros de drenagem com substrato, sendo ajustada a um valor médio de índice de área foliar. Foram feitas medições semanais e a interpolação dos valores diários do índice de área foliar das plantas, bem como a determinação dos subperíodos de desenvolvimento da cultura. Os elementos meteorológicos foram medidos no interior e no exterior da estufa plástica. A evapotranspiração máxima média totalizou 121,6 mm para o ciclo de 71 dias da cultura. Nos subperíodos transplante-início da frutificação e início da frutificação-final da colheita a mesma totalizou 41,1 mm e 80,6 mm, respectivamente. O coeficiente de cultura variou de 0,06 no início do desenvolvimento da cultura até o máximo extremo de 1,78, sendo que a curva de tendência média apresentou um valor máximo de 1,30. O mesmo pode ser estimado pelos valores de índice de área foliar da cultura, sendo necessário a correção de seus valores para dias com céu encoberto.

**Palavras-chave:** Abóbora, estufa plástica, evapotranspiração máxima, coeficiente de cultura

**Abstract** - The maximum evapotranspiration and the crop coefficient were quantified on a daily basis in squash (*Cucurbita pepo* L.) under plastic greenhouse conditions. The experiment was conducted in a plastic greenhouse (10 m wide and 24 m length) located at the Fitotecnia Department of the Federal University of Santa Maria from March 1 to May 10, 2001. Evaluations were done in two sets of two rows of plants separated 0.80 m between plants and 0.80 m within row. There was a border row in each side separated by 1.50 m. The maximum evapotranspiration was calculated using two approaches: soil water balance with tensiometers in minilysimeters with natural soil and lysimeters with artificial soil. Leaf area index and sub-period between developmental stages were measured throughout the experimental period. Meteorological elements were measured inside and outside the greenhouse. Mean leaf area index was used to adjust the maximum evapotranspiration when calculated by different approaches. During 71 days of crop development, the mean maximum evapotranspiration from lysimeters with artificial soil and minilysimeters with natural soil was 121.6 mm. Total maximum evapotranspiration was 41.1 mm and 80.6 mm for the transplant-fruit setting and fruit setting-end harvest sub-periods, respectively. Crop coefficient varied from 0.06 to 1.78 with a maximum estimated average of 1.30. The crop coefficient can be estimated from the leaf area index, but needs to be corrected for cloudy days.

**Key words:** Squash, plastic greenhouse, maximum evapotranspiration, crop coefficient

<sup>1</sup>Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

<sup>2</sup>Mestre, aluno do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFSM, bolsista CAPES.

<sup>3</sup>Doutor, Prof. do Departamento de Fitotecnia, CCR, UFSM, bolsista CNPq. [heldwein@creta.ccr.ufsm.br](mailto:heldwein@creta.ccr.ufsm.br).

<sup>4</sup>Mestre, aluno do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, UFRGS.

<sup>5</sup>Aluno do curso de Agronomia da UFSM, bolsista PIBIC/CNPq.

## Introdução

A abóbora italiana constituí-se numa importante opção dentre as espécies que podem ser cultivadas no interior de estufas plásticas, principalmente na entressafra de culturas rentáveis de ciclo mais longo como o tomateiro. Porém, sobre esta espécie, ainda faltam informações que possam servir de base aos produtores para o manejo e a irrigação das plantas quando cultivadas em estufas e/ou túneis plásticos.

Para o manejo adequado da irrigação das plantas é fundamental que se conheçam as suas exigências hídricas nos diferentes subperíodos de desenvolvimento. Estas exigências, para uma mesma cultivar, podem variar em função das condições ambientais. Sabe-se que o consumo d'água de muitas espécies olerícolas, quando cultivadas em estufa, é menor do que quando cultivado no exterior (FARIAS et al., 1994; FOLEGATTI et al., 1997).

Em cultivo a campo em Viçosa, no Brasil central, SILVA et al. (1988) estudaram o consumo d'água da abóbora italiana (cv. Caserta) utilizando três diferentes métodos de irrigação num período de 69 dias de duração do ciclo da cultura. A necessidade de irrigação variou de 209 a 220 mm. Também para a cultura da abóbora italiana em cultivo a campo em Botucatu, LUNARDI et al. (1999) utilizando lisímetros de nível freático constante, obtiveram um total de evapotranspiração máxima de 231,5 mm para um ciclo de 70 dias. Constataram ainda que o subperíodo que antecedeu o início da colheita foi o de maior consumo d'água, com média de 3,9 mm.dia<sup>-1</sup>. Com plantas cultivadas em substrato no interior de estufa plástica no período de primavera, STRECK et al. (2000) obtiveram uma transpiração total de 194,5 mm, com média de 2,2 mm.dia<sup>-1</sup> num ciclo de 89 dias.

Os resultados obtidos a campo por SILVA et al. (1988) e LUNARDI et al. (1999), embora não sejam diretamente comparáveis com os valores obtidos em estufa plástica por STRECK et al. (2000), servem como indicativo de que, no interior das estufas a evapotranspiração da cultura da abóbora tende a ser menor do que em ambiente natural (FARIAS et al. 1994, FOLEGATTI et al., 1997). A diferença do volume de água consumido a campo, provavelmente seria maior caso a densidade de plantas fosse semelhante a dos cultivos em ambiente protegido.

A partir da medida da evapotranspiração máxima (*ET<sub>m</sub>*) e da determinação simultânea da

evapotranspiração de referência (*ET<sub>o</sub>*), pode-se calcular o coeficiente de cultura (*K<sub>c</sub>*) (PEREIRA et al., 1997). A determinação desse índice para os diferentes subperíodos de desenvolvimento das plantas permite que, a partir de dados de *ET<sub>o</sub>*, de fácil estimativa e por vezes disponíveis nas estações meteorológicas, seja possível calcular a *ET<sub>m</sub>*. Entretanto se sabe que o *K<sub>c</sub>* tem sua aplicação limitada à cultura, ao local e às condições específicas para as quais foi determinado (BERGAMASCHI et al., 1992), como é o caso dos cultivos em estufas e túneis plásticos.

O coeficiente de cultura para a abóbora italiana obtido a campo por LUNARDI et al. (1999), foi de 0,66, 1,44 e 1,65 nos subperíodos sementeira-início da floração, início da floração-início da colheita e início da colheita-final da colheita, respectivamente. Para a abóbora (cv. Minette) cultivada a campo na África do Sul, JOVANOVIĆ & ANNANDALE (1999) obtiveram valores de *K<sub>c</sub>* de 0,14, 0,95 e 0,48 para os subperíodos de início de ciclo com 10 dias de duração, desenvolvimento da cultura que compreendeu 53 dias e para o subperíodo final com 23 dias, respectivamente.

A necessidade hídrica e o coeficiente de cultura de muitas espécies conduzidas em estufa plástica, como a do tomateiro (DALSSASSO et al., 1997), do meloeiro (CARON, 1999) e do pimentão (DALMAGO, 2001), vem sendo estudados nos últimos anos na região sul do Brasil, especialmente em Santa Maria, RS. No entanto, não se dispõe de trabalhos específicos para a cultura da abóbora italiana cultivada em estufa plástica.

Tendo em vista a importância da adequada dotação hídrica para a produção das culturas, este trabalho teve por objetivo determinar a evapotranspiração máxima diária e o coeficiente de cultura da abóbora italiana (*Cucurbita pepo*, L.), cultivar caserta, cultivada no outono em estufa plástica.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido no interior de uma estufa plástica localizada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (latitude: 29°43'23"S, longitude: 53°43'15"W e altitude: 95 m). O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida. O solo

pertence à Unidade de Mapeamento São Pedro e é classificado como ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico. A estufa tinha as dimensões de 24,0 m de comprimento, 10,0 m de largura, 2,0 m de pé-direito, altura de 3,5 m na parte central e orientação no sentido norte-sul. A sua cobertura era em forma de arco (modelo arco-pampeano).

Utilizou-se a abóbora italiana (*Cucurbita pepo*, L.), cultivar caserta. As mudas foram produzidas em bandejas, sendo o transplante realizado em 28 de fevereiro de 2001, quando estas apresentavam duas a três folhas definitivas. O transplante foi realizado em fileiras pareadas constituídas de camalhões com cerca de 0,10 m de altura e 0,40 m de largura, cobertos com filme de *PEBD* de cor preta ("mulching") com 35  $\mu\text{m}$  de espessura. Em cada lado da estufa foram implantadas duas fileiras de plantas distanciadas 0,80 m entre si e em cada lado destas uma fileira de bordadura distanciada 1,50 m. O espaçamento entre plantas nas fileiras foi de 0,80 m. As plantas foram conduzidas em haste única, eliminando-se todas as brotações laterais, sendo a sustentação dessas feita por fios de ráfia. Foram realizadas desfolhas aos 38 e 48 dias após o transplante (*DAT*) para melhorar as condições de ventilação entre as plantas e eliminar as folhas senescentes.

A evapotranspiração foi determinada por minilísímetros de drenagem com solo e lisímetros de drenagem com substrato. No primeiro caso foram utilizados onze minilísímetros de drenagem com solo, construídos segundo DALMAGO (2001). Em cada minilísímetro foram instalados dois tensiômetros com manômetro de mercúrio e cápsula porosa, sendo um a 0,10 m e o outro a 0,20 m de profundidade, para a determinação do potencial matricial da água no solo ( $\Psi_m$ ). A instalação, o manejo e a fluxagem dos tensiômetros foi realizada conforme HELDWEIN et al. (1995). Após a leitura das colunas de mercúrio no manômetro e antes da irrigação matinal foi realizada a extração da água drenada da irrigação do dia anterior, utilizando-se a aplicação de vácuo parcial com bomba de sucção e cápsula porosa conforme DALMAGO (2001).

A evapotranspiração máxima (*ETm*), nos minilísímetros de drenagem com solo, foi obtida através do cálculo do balanço hídrico do solo, utilizando-se a equação simplificada:

$$ETm = I - q - DA \quad (1)$$

em que *I* é a quantidade de água utilizada na irrigação (mm), *q* a densidade de fluxo vertical de água a

0,25 m de profundidade e *DA* a variação de armazenamento de água na camada de solo, sendo obtida a partir da umidade volumétrica do solo (*q*) calculada a partir do  $\Psi_m$  com a curva característica de água no solo determinada por CARON (1999). A *DA* foi determinada para as camadas de solo de 0,0 a 0,15 m e de 0,15 a 0,25 m de profundidade, sendo a *DA* diária obtida pela soma do valor de *DA* das duas camadas de solo.

A irrigação dos minilísímetros foi realizada de forma a manter o potencial matricial da água no solo entre -100 e -400 hPa. Também foram adotados critérios relacionados às condições meteorológicas do momento conforme definido empiricamente por DALSSASSO et al. (1997) e usado por CARON (1999) e DALMAGO (2001) em trabalhos semelhantes com outras culturas.

No caso das plantas cultivadas em substrato foi utilizada a metodologia descrita por VALANDRO et al. (1999), com algumas adaptações. Foram utilizados nove lisímetros, contendo uma planta cada, construídos com galões de PVC com capacidade para 20 litros de substrato, ligados a reservatórios de 5 litros para a coleta da drenagem. A *ETm* consistiu na diferença entre o volume de água irrigado e o volume drenado. Dessa forma, a *ETm* da planta correspondeu àquela ocorrida no período imediatamente anterior a realização da irrigação, pois a diferença correspondeu à reposição da água retirada do substrato pelas plantas no período anterior, após a última irrigação. As fertirrigações foram realizadas com solução nutritiva diluída, sendo utilizada a formulação proposta por ANDRIOLO & POERSCHKE (1997), desenvolvida para o cultivo de tomateiro.

Foram realizadas irrigações diárias pela manhã e ainda irrigações adicionais à tarde com exceção dos dias chuvosos e encobertos. Para fins de análise os valores médios de *ETm* foram obtidos pela média aritmética entre a evapotranspiração nos minilísímetros com solo e a nos lisímetros com substrato, previamente ajustada a um mesmo índice de área foliar médio.

O ciclo das plantas foi dividido em dois subperíodos: transplante-início da frutificação e início da frutificação-final da colheita. A partir da medição semanal da maior largura das folhas foi estimada a área do limbo de cada folha ( $A_{LF}$ ), utilizando o modelo matemático definido por TRENTIN et al. (2000) para folhas de plantas de abóbora italiana cultivadas em estufa plástica. Os valores diários de área foliar

total de cada planta foram obtidos por interpolação entre as datas de amostragem, possibilitando o cálculo do índice de área foliar diário (*IAFm*).

Os dados meteorológicos do interior da estufa foram armazenados a intervalos de 10 minutos por um aquisitor de dados. A medida da densidade de fluxo de radiação solar incidente no interior da estufa plástica foi realizada utilizando-se dois tubos solarímetros de marca  $\Delta$ -T, com um metro de comprimento. Estes foram orientados no sentido norte-sul, distanciados 4,0 m um do outro e instalados a 2,5 m de altura do solo na parte central da estufa plástica. Foram instalados ainda dois sensores Pt-100 de resistência elétrica para medida da temperatura do ar, formando um par psicrométrico não aspirado alojado num abrigo meteorológico a 1,5 m de altura do solo no centro da estufa plástica. Através dos dados coletados obtiveram-se os valores diários de temperatura (*Tai*, em °C), umidade relativa (*URi*, em %) e déficit de saturação do ar (*Di*, em hPa) e da densidade do fluxo de radiação solar incidente (*Rgi*, em  $W.m^{-2}$ ) no interior da estufa. Os valores diários das variáveis meteorológicas no exterior da estufa foram obtidos na Estação Meteorológica Principal de Santa Maria localizada a 100 m do local do experimento.

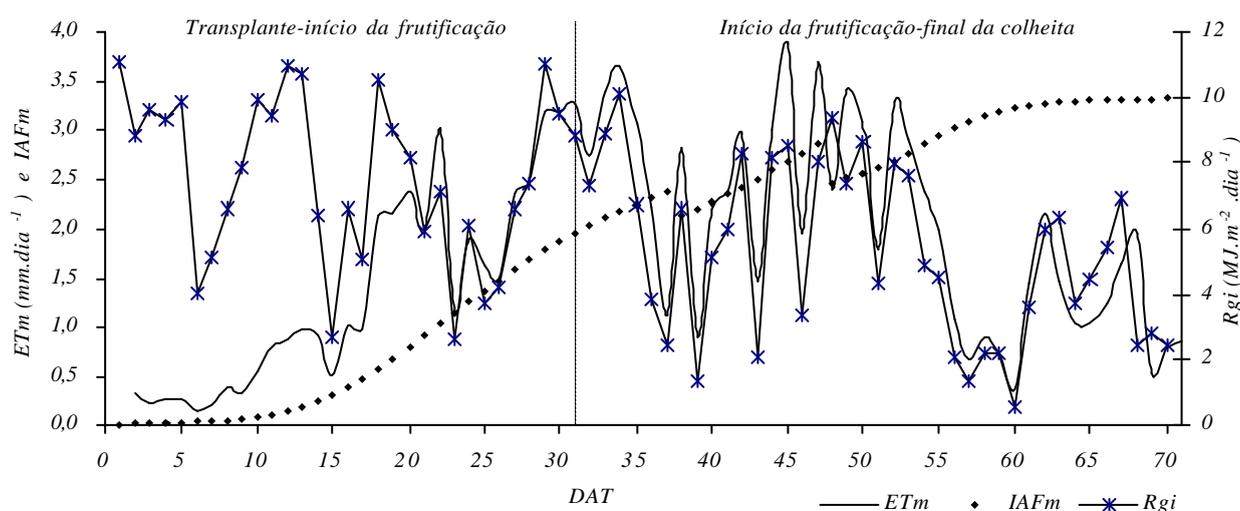
Pela razão entre o valor medido da *ETm* da cultura no interior da estufa ( $mm\ dia^{-1}$ ) e a evapotranspiração de referência (*ETo*,  $mm\ dia^{-1}$ ), calculou-se o coeficiente de cultura (*Kc*) diário e seus valores médios para os subperíodos transplante-iní-

cio da frutificação e início da frutificação-final da colheita. A *ETo* foi estimada para as condições da estação meteorológica pelo método de Penman-Monteith, conforme PEREIRA *et al.* (1997), desconsiderando-se o fluxo de calor no solo.

## Resultados e discussão

A evapotranspiração máxima (*ETm*) da cultura da abóbora italiana apresentou tendência crescente até os 35 dias após o transplante (*DAT*) e decrescente após os 50 *DAT*, com grande oscilação dos valores diários ao longo de todo o ciclo (Figura 1). A *ETm* total do ciclo de 71 dias foi de 121,6 mm. A duração do subperíodo transplante-início da frutificação foi além dos 20 dias previstos, devido ao abortamento das flores femininas antes da abertura, o que causou o atraso no início da frutificação. Assim a evapotranspiração máxima foi de 41,1 mm para o subperíodo transplante-início da frutificação com a duração de 31 dias e de 80,6 mm para o subperíodo início da frutificação-final da colheita com duração de 40 dias. Deve-se considerar que a relação entre a duração de um subperíodo e a evapotranspiração não é fixa, variando sempre com as condições de desenvolvimento da cultura e de demanda hídrica atmosférica naquele subperíodo.

Os valores crescentes de *ETm* até cerca de 35 *DAT*, foram determinados pelo aumento do *IAFm* (Figura 1). Os valores decrescentes após os 50 *DAT*



**Figura 1** - Evapotranspiração máxima (*ETm*) da cultura da abóbora italiana cultivada em estufa plástica, relacionada ao seu índice de área foliar (*IAFm*) e à densidade de fluxo de radiação solar global incidente no interior da estufa plástica (*Rgi*) ao longo dos dias após o transplante (*DAT*), em Santa Maria-RS, no período de março a maio de 2001.

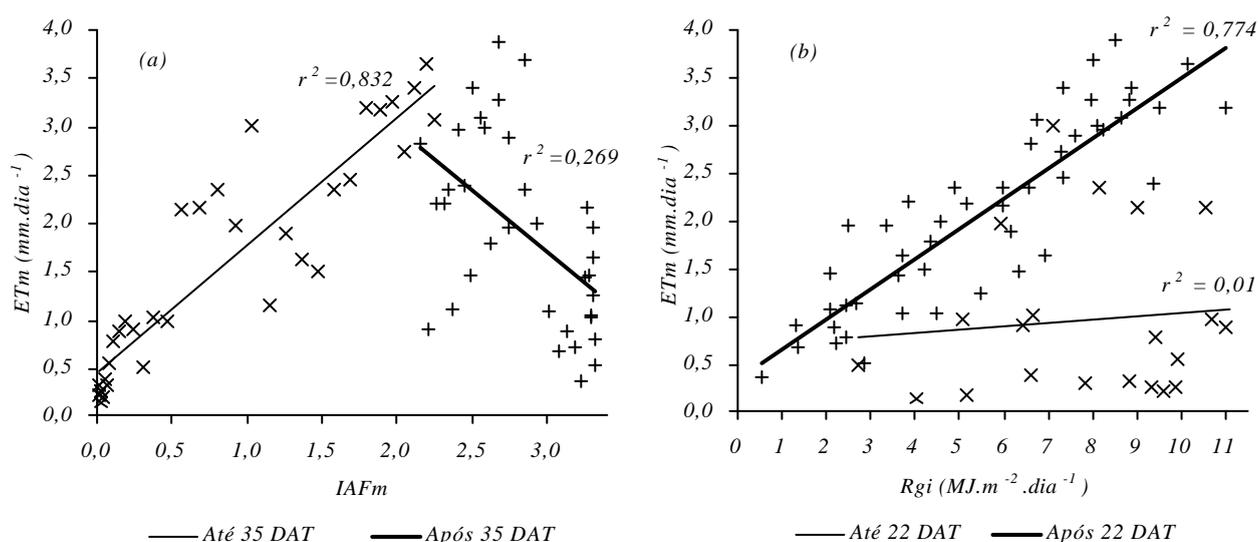
foram conseqüência principalmente da diminuição gradativa das horas de insolação no decorrer dos dias em razão do aumento da declinação solar no período outonal. Isto exerceu influência sobre outros elementos dos quais depende a evapotranspiração, como a diminuição da temperatura e o aumento da umidade do ar.

Segundo RIGHI (2000) a  $ET_m$  é função, principalmente, da radiação solar global, pois além da regulação estomática também contribui com energia para que ocorra o processo de evaporação. Na Figura 1 pode-se observar a associação entre a  $ET_m$  e a  $R_{gi}$  determinados neste trabalho. Até cerca de 22 DAT a associação entre a  $ET_m$  da cultura e a  $R_{gi}$  mostrou-se baixa, em função da transpiração estar limitada pela pequena área foliar. Além disso, deve-se considerar que a cobertura dos camalhões com mulching plástico de cor preta restringiu a evaporação da água na superfície do solo. Somente quando o  $IAF_m$  atingiu valores acima de um, passou a existir relação direta entre a  $ET_m$  e a  $R_{gi}$ . Para o pimentão cultivado no outono em estufa plástica, DALMAGO (2001) também encontrou uma melhor associação entre a  $ET_m$  da cultura e a radiação solar disponível a partir do momento em que foi alcançado o  $IAF$  máximo. No caso da abóbora italiana não se observa uma definição clara de uma data com um  $IAF$  máximo (Figura 1), porém fica evidente a intensidade da  $ET_m$  em função do desenvolvimento da cultura. Assim, pode-se distinguir três períodos. O primeiro período do cultivo, até em torno de 22 DAT, foi de baixa  $ET_m$

em função do baixo  $IAF_m$  e, mesmo sendo um período com condições meteorológicas favoráveis a uma  $ET_m$  maior, o incremento diário desta foi resultado do aumento do  $IAF_m$  até cerca de um ( $IAF_m \approx 1,0$ ). O segundo período, entre os 23 DAT e os 35 DAT ( $1,0 < IAF_m < 2,0$ ), foi de valores intermediários. A  $ET_m$  das plantas foi uma função da interação do  $IAF_m$  (Figura 2a) e da variação da disponibilidade de  $R_{gi}$  (Figura 2b). A partir dos 36 DAT, num terceiro período, os valores de  $IAF_m$  foram acima de dois e o seu aumento diário não interferiu significativamente na  $ET_m$  se comparado com a contribuição da  $R_{gi}$ . A menor relevância do incremento do  $IAF_m$  na  $ET_m$  pode ser notada ainda por ocasião das desfolhas realizadas aos 38 e 48 DAT. Isso indica que a  $ET_m$  de plantas de abóbora italiana, com estatura média de 0,90 m, relativamente baixa e com folhagem densa, cultivadas no outono em estufa plástica, aumenta até que as mesmas alcancem valores de  $IAF_m$  em torno de 2,0, sendo possível tomar esse referencial como  $IAF_m$  máximo para a cultura.

Objetivando avaliar e melhor identificar as causas da variação da  $ET_m$  das plantas em função dos DAT, classificou-se a mesma segundo a densidade de fluxo de radiação solar diária incidente no interior da estufa:  $R_{gi} > 5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ,  $2,5 < R_{gi} < 5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  e  $R_{gi} < 2,5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

Para valores de  $R_{gi}$  acima de  $5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  foram identificados dias com  $ET_m$  discrepante em relação a linha de tendência dada pela equação



**Figura 2** - Evapotranspiração máxima ( $ET_m$ ), (a) em função do índice de área foliar ( $IAF_m$ ) e (b) em função da radiação global incidente ( $R_{gi}$ ), para dois períodos de dias após o transplante (DAT), num cultivo de abóbora italiana em estufa plástica em Santa Maria-RS, no período de março a maio de 2001.

polinomial (Figura 3). Aos 22 DAT, a  $ET_m$  foi elevada em relação aos outros dias devido a ocorrência de vento norte, que em Santa Maria tem por principal característica soprar persistentemente, com velocidade mediana a alta e proporcionar um aporte de energia advectiva ao meio por ser um vento quente e seco. Nesse dia o maior déficit de saturação no interior da estufa (23,70 hPa) favoreceu a uma maior  $ET_m$  em relação a dias com a mesma disponibilidade de  $R_{gi}$ . Aos 45 e 49 DAT ocorreu uma condição semelhante, na qual a temperatura do ar e o déficit de saturação foram muito elevados. Aos 49 DAT a discrepância positiva da  $ET_m$  pode ter sido em parte atenuada pela desfolha realizada no dia anterior.

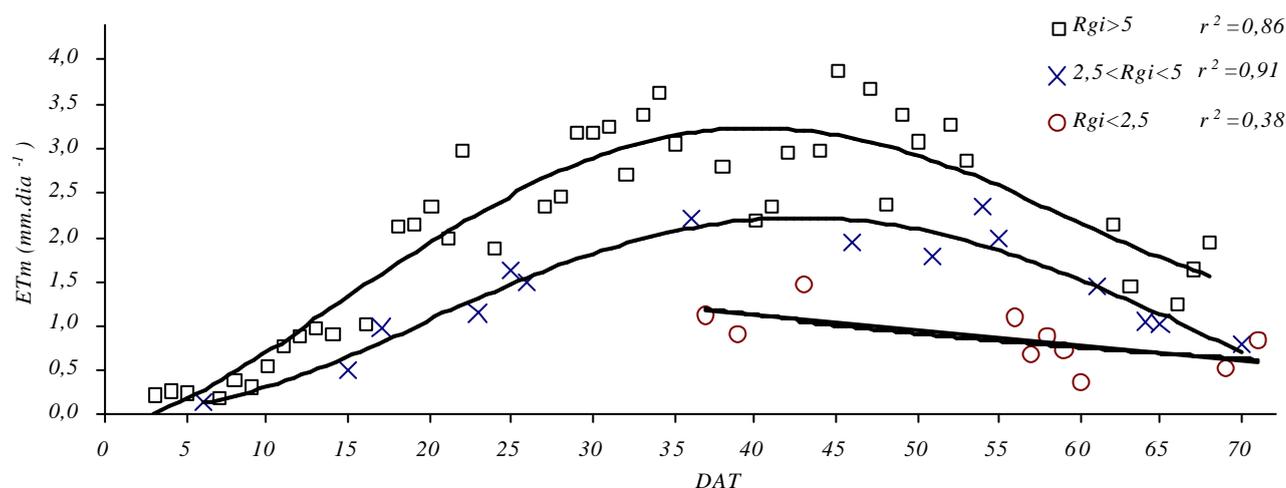
Os valores de  $ET_m$  aos 40 e 41 DAT apresentaram desvios negativos em relação a tendência dos demais valores. Isto foi devido às condições de baixa demanda atmosférica ocasionada pela ocorrência de chuva abundante no dia anterior e durante esses dias. Nesses dias a radiação solar no interior da estufa chegou a cerca de  $5,0 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , no entanto a redução na  $ET_m$  foi devido à necessidade de manter-se a estufa fechada ou aberta por muito pouco tempo ao longo do dia resultando numa condição de ar estagnado e úmido no seu interior.

Aos 48 DAT a  $ET_m$  apresentou discrepância negativa, mesmo dispondo de radiação solar incidente acima de  $5,0 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ . Nesse dia é possível que tenha ocorrido influência da desfolha realizada. Na primeira desfolha, aos 38 DAT, foram retiradas uma

a duas folhas adultas, porém pequenas, de cada planta. Assim a desfolha não interferiu de forma expressiva na evapotranspiração. Já na desfolha realizada aos 48 DAT foi retirado um número maior de folhas baixas que formavam uma massa verde de folhas sombreadas, sendo algumas senescentes, reduzindo o  $IAF_m$  de 2,85 para 2,45. Com isso a  $ET_m$ , se comparada à média dos dias próximos, foi em torno de 1,0 mm menor, mesmo ocorrendo  $9,37 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  de densidade de fluxo de radiação solar incidente no interior da estufa.

Além da redução da área foliar é possível que a injúria mecânica causada na retirada das folhas tenha contribuído na redução da  $ET_m$ , devido ao fechamento dos estômatos das folhas como resposta fisiológica das plantas, pois a maior redução da  $ET_m$  ocorreu apenas imediatamente após a desfolha. Nos dias subsequentes os valores de  $ET_m$  foram similares aos valores médios para o período. Isso induz a concluir que a contribuição das folhas baixas na  $ET_m$  da cultura, quando há valores de  $IAF_m$  acima de dois, foi menos expressiva do que a esperada, corroborando com as assertivas anteriormente discutidas.

Na relação entre DAT e  $ET_m$  para os dias com  $R_{gi}$  entre 2,5 e  $5,0 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  (Figura 3), observa-se um alto grau de ajuste aos dados ( $r^2=0,910$ ). O bom ajuste, mesmo sendo com valores numa faixa estreita e limitada de fluxo de radiação solar global, justifica-se pelo fato de que a  $ET_m$  passa a ser uma função do  $IAF_m$  e de variáveis meteorológicas como



**Figura 3** - Evapotranspiração máxima ( $ET_m$ ) da cultura da abóbora italiana cultivada em estufa plástica, subdividida segundo as classes de densidade de fluxo de radiação solar global incidente:  $R_{gi} > 5,0 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ,  $2,5 < R_{gi} < 5,0 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  e  $R_{gi} < 2,5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  e seus respectivos coeficientes de ajuste por regressão, ao longo do ciclo da cultura (DAT), em Santa Maria-RS, no período de março a maio de 2001.

a temperatura e umidade relativa do ar no interior da estufa. A valores baixos, a  $R_{gi}$  deixa de ser a principal variável determinante da demanda evaporativa atmosférica. Um exemplo foi aos 54 DAT, quando em função da ocorrência de vento norte a estufa foi mantida fechada durante todo o dia. Nesse caso a temperatura do ar no interior da estufa ( $34,9^{\circ}\text{C}$  às 15 horas) foi responsável pela  $ET_m$ , apesar da alta umidade relativa ( $72,9\%$  às 15 horas) e do menor fluxo de radiação solar incidente no interior da estufa ( $4,91 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ).

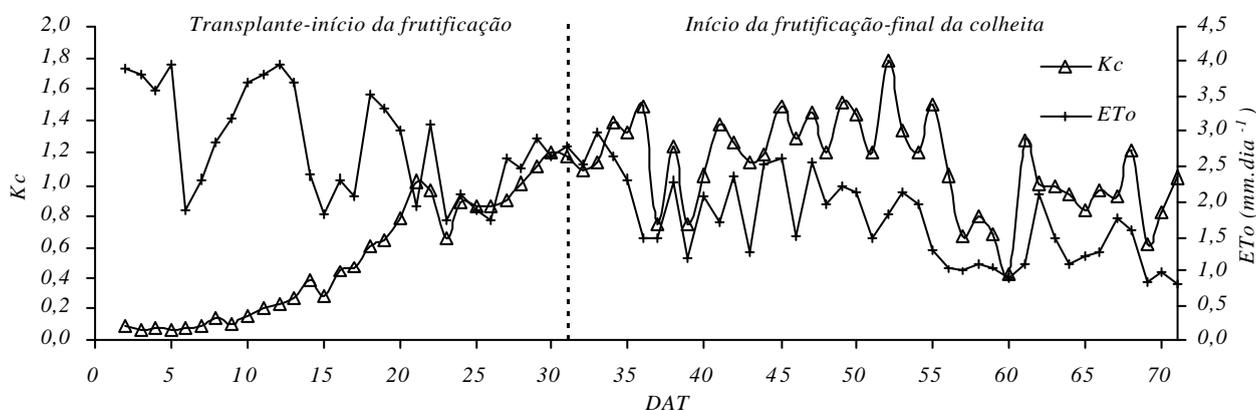
Nos dias com  $R_{gi}$  menor do que  $2,5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , também apresentados na Figura 3, a relação entre  $ET_m$  e DAT foi muito baixa ( $r^2 = 0,384$ ). A maioria dos valores de  $ET_m$  situaram-se entre 0,7 e 1,1 mm, com a média em torno de 0,9 mm. O valor de 0,37 mm, aos 60 DAT, deveu-se ao fato de que o ar no interior da estufa permaneceu saturado praticamente durante todo dia ( $Dd_i=0,59 \text{ hPa}$ ) e ainda foi o dia com a menor disponibilidade de energia solar em todo o ciclo ( $R_{gi}=0,56 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ). Assim pode-se aventar que, para plantas adultas de abóbora italiana cultivadas em estufa plástica, a  $ET_m$  mínima, em dias completamente encobertos com alta umidade do ar, é da ordem de 0,3 a  $0,4 \text{ mm.dia}^{-1}$ .

Os resultados da relação entre a  $ET_m$  das plantas e os DAT nas três classes de  $R_{gi}$  possibilita deduzir que os ajustes ao longo das respectivas curvas de tendência não são dependentes apenas da variabilidade da  $R_{gi}$ , mas também de outros elementos meteorológicos, como a temperatura do ar e o déficit de saturação, estes dependentes do manejo de ventilação da estufa, bem como do  $IAF_m$  da cultura.

Esta talvez seja a razão do porque os modelos que se utilizam apenas da radiação solar para determinar a necessidade de irrigação, como o de Villèle (1972) citado por ANDRIOLO (1999), não tem dado a resposta satisfatória como verificado nas regiões produtoras da Espanha e da França.

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) ao longo do ciclo da cultura é apresentado na Figura 4. O menor valor foi de 0,06 nos primeiros DAT, resultado dos baixos valores iniciais de  $ET_m$ , devido à pequena área foliar da cultura e à restrita evaporação a partir do solo coberto com plástico preto, apesar das condições de alta demanda hídrica. O valor máximo diário de  $K_c$  foi de 1,78 e ocorreu aos 52 DAT. Nessa data a  $ET_o$  estimada manteve sua tendência de decréscimo e, portanto, o pico máximo apresentado pela  $ET_m$  não esteve associado a um aumento da demanda hídrica externa à estufa, não encontrando-se uma explicação para sua ocorrência.

Os valores médios e extremos de  $K_c$  obtidos para os dois subperíodos de desenvolvimento da cultura são apresentados na Tabela 1. No subperíodo transplante-início da frutificação o  $K_c$  apresentou oscilação menor que a  $ET_m$ . O subperíodo do início da frutificação-final da colheita apresentou um  $K_c$  médio de 1,12, sendo caracterizado por muitas variações. Os valores baixos observados, com médias de  $K_c$  próximas a um ( $K_c \approx 1,0$ ) e/ou inferiores a um, como o valor mínimo extremo de 0,42 aos 60 DAT, foram consequência de períodos com tempo nublado e chuvoso em que as cortinas laterais da estufa permaneceram fechadas durante o dia ou parte do dia, conforme verificado por ANNANDALE & STOCKLE, 1994.



**Figura 4** - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ) e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) em função dos dias após o transplante (DAT) ao longo do ciclo da cultura da abóbora italiana cultivada em estufa plástica, em Santa Maria-RS, no período de março a maio de 2001.

**Tabela 1** - Valores do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) para cultivo outonal de abóbora italiana, cultivar caserta, no interior de estufa plástica, em dois subperíodos de desenvolvimento das plantas. Santa Maria, RS, 2002.

Subperíodos de Desenvolvimento	Mínimo absoluto	Médio	Máximo absoluto	Máximo da tendência média
Transplante-início da frutificação	0,06	0,50	1,20	1,12
Início da frutificação-final da colheita	0,42	1,12	1,78	1,30

Na determinação da lâmina de água a ser irrigada, os erros decorrentes das flutuações negativas em relação a linha de tendência média do ciclo, podem ser compensados pelas variações positivas nos dias subsequentes. Porém para utilizar os valores médios de  $K_c$  (Tabela 1) deve-se ter o cuidado de observar as condições meteorológicas momentâneas. Na Figura 4 observa-se que a média para o subperíodo início da frutificação-final da colheita é resultado de valores elevados de  $K_c$  até a metade do subperíodo e que estes diminuem na outra metade do subperíodo. Assim, ao utilizar-se de um  $K_c$  médio, na primeira metade desse subperíodo de desenvolvimento a cultura seria subirrigada e na outra metade receberia água em excesso.

Na Figura 5 observa-se a evolução dos valores diários de  $K_c$  ao longo do período experimental em função do  $IAF_m$  da cultura. A obtenção da linha de tendência média do  $K_c$  teve um alto coeficiente de determinação para dados diários quando a variabilidade normalmente é alta.

A resposta do  $K_c$  em relação ao  $IAF_m$ , nos dias em que a  $R_{gi}$  foi menor do que  $2,5 \text{ MJ.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}$ , foi praticamente nula e o coeficiente de determinação da regressão foi muito baixo (Figura 5). Os valores de  $K_c$  apresentaram elevada dispersão entre os pontos e nenhuma associação com a variação do  $IAF_m$  ( $r^2=0,056$ ). Essa tendência já era esperada, pois na análise da  $ET_m$  também foi verificado grande dispersão dos valores para essa faixa de  $R_{gi}$ . Portanto, para os dias com valores de  $R_{gi}$  menores do que  $2,5 \text{ MJ.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}$ , seria mais prático adotar um valor médio de  $K_c$  da ordem de 0,70 ou utilizar um fator de correção negativa.

A relação entre  $K_c$  e  $IAF_m$  apresentou melhor coeficiente de ajuste para os valores de  $R_{gi}$  maiores que  $2,5 \text{ MJ.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}$  (Figura 5), obtendo-se um  $r^2=0,90$  para uma função polinomial de segundo grau. Os valores de  $R_{gi}$  maiores do que  $5,0 \text{ MJ.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}$  foram considerados juntamente com aqueles do intervalo entre 2,5 e  $5,0 \text{ MJ.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}$  pois os

coeficientes de determinação de ajuste das curvas de tendência foram similares entre os dois grupos de dados, resultando em funções levemente sobrepostas. Isso permite deduzir que a razão entre a  $ET_m$  e a  $ET_o$  pode ser padronizada entre valores que anteriormente apresentavam discrepância em relação a tendência média diária.

Os valores diários de  $K_c$ , com exceção dos dados obtidos em condições de baixa disponibilidade de  $R_{gi}$ , apresentaram uma elevada associação com o  $IAF_m$  diário evidenciando a interrelação próxima e dependente que existe entre o  $K_c$  e o  $IAF_m$  da cultura da abóbora italiana. Assim, é possível utilizar a equação apresentada na Figura 5 como modelo matemático para a obtenção do  $K_c$  da cultura da abóbora italiana no decorrer de seu ciclo, desde que se faça a correção de seus valores nos dias de baixa disponibilidade de radiação solar. Dessa forma, para melhor adequar o  $K_c$  às condições de  $R_{gi}$ , foi obtido o seguinte modelo matemático, que permite determinar o índice de correção a ser multiplicado pelos valores de  $K_c$ :

$$\text{Cor}K_c = -0,656535 + 0,188855.R_{gi} \quad r^2 = 0,65 \quad (2)$$

A correção de redução do  $K_c$  médio de acordo com a radiação solar, torna-se indispensável pois nesses dias a  $ET_m$  da cultura diminui consideravelmente e a utilização de valores de  $K_c$  estimados pela curva de tendência média implicaria numa irrigação excessiva e desnecessária. O modelo matemático apresentado é válido para correção dos valores de  $K_c$  para os dias com  $R_{gi}$  no intervalo de zero a  $2,5 \text{ MJ.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}$ .

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERGS e à Petroquímica Triunfo S.A. pelo financiamento parcial desta pesquisa e à CAPES e ao CNPq pelas bolsas individuais concedidas.

## Referências bibliográficas

ANDRIOLO, J.L.; POERSCHKE, P.R.C. **Cultivo de tomateiro em substrato**. Santa Maria: UFSM – Centro de Ciências Rurais, 1997, 12 p. (Informe Técnico, 2).

ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Editora da UFSM, 1999, 142 p.

ANNANDALE, J.G.; STOCKLE, C.O. Fluctuation of crop evapotranspiration coefficients with weather a sensitivity analysis. **Irrigation Science**, New York, v. 15, n. 1, p. 1-7, 1994.

BERGAMASCHI, H. et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1992, 125 p.

CARON, B.O. **Consumo d'água e coeficiente de cultura do meloeiro cultivado em estufa plástica**. Santa Maria: UFSM, 1999, 71 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Universidade Federal de Santa Maria. 1999.

DALMAGO, G.A. **Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura do pimentão em estufa plástica**. Santa Maria UFSM, 2001, 165 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Universidade Federal de Samta Maria. 2001.

DALSASSO, L.C.M. et al. Consumo d'água do tomateiro tipo salada em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 61-67, 1997.

FARIAS, J.R.B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S.R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 17-22, 1994.

FOLEGATTI, M.V. et al. Efeitos da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos e evaporação da cultura de crisântemo em estufa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 155-163, 1997.

HELDWEIN, A.B. et al. **Tensiometria**. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais, 1995, 7 p. (Informe Técnico, 6).

JOVANOVIC, N.Z.; ANNANDALE, J.G. An FAO type crop factor modification to SWB for inclusion of crops with limited data: examples for vegetable crops. **Water SA**. Pretória, v. 25, n. 2, p. 181-190, 1999.

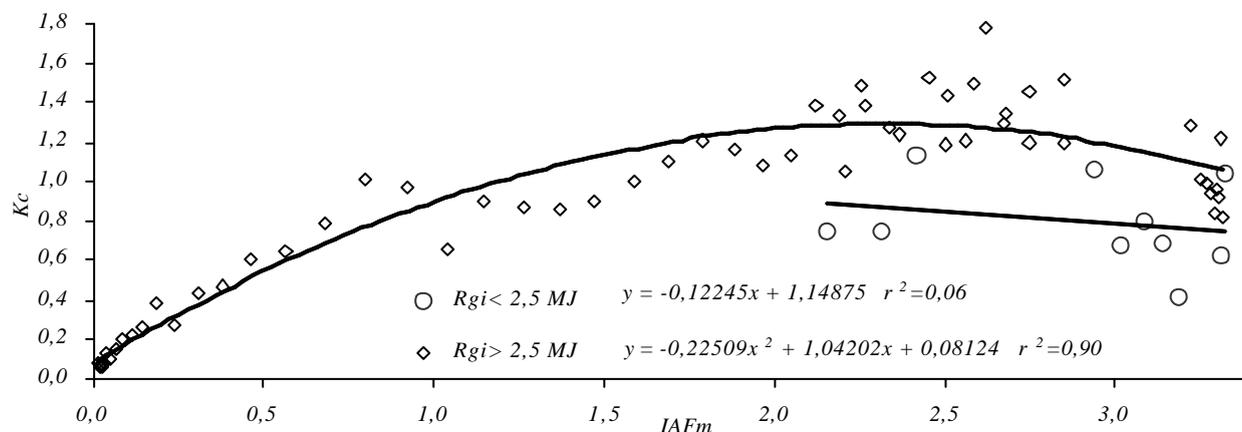
LUNARDI, D.M.C.; KLOSOWSKI, E.S.; SANDANIELO A. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da abóbora italiana na região de Botucatu-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 179-182, 1999.

PEREIRA, A.R., NOVA, N.A.V., SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997, 183 p.

RIGHI, E.Z. **Consumo hídrico do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado em estufa plástica e sua relação com variáveis meteorológicas em Santa Maria, RS**. Piracicaba: ESALQ, 2000, 83 p. Dissertação (Mestrado em agrometeorologia) – ESALQ/USP, 2000.

SILVA, U.D. da et al. Efeitos dos emissores de água “trorion” e “gotasa” sobre a produção de abobrinha italiana (*Cucurbita pepo* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 35, n. 202, p. 529-541, 1988.

STRECK, L. et al. Consumo d'água da abobrinha italiana cultivada em substrato em estufa plástica. In: JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 15., **Anais...** Santa Maria: CCR/UFSM, 2000. p. 361.



**Figura 5** - Valores diários de coeficiente de cultura ( $K_c$ ) da abóbora italiana cultivada em estufa plástica, em função do índice de área foliar ( $IAF_m$ ) para as classes de dias com densidade de fluxo de radiação solar incidente no seu interior ( $R_{gi}$ ) maior e menor do que  $2,5 \text{ MJ.m}^{-2}\text{dia}^{-1}$  ao longo do ciclo da cultura em Santa Maria-RS, no período de março a maio de 2001.

TRENTIN, G. et al. Determinação não destrutiva da área foliar de plantas de abobrinha italiana. In: JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 15., **Anais...** Santa Maria: CCR/UFSM, 2000. p. 386.,

VALANDRO, J.; ANDRIOLO, J.L.; BURIOL, G.A. Dispositivo lisimétrico simples para determinar a transpiração das hortaliças cultivadas fora do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 189-193, 1999.