

ISSN 0104-1347

Avaliação de métodos para determinação da evapotranspiração máxima da cultura do pimentão em estufa plástica¹.

Evaluating methods for measuring maximum evapotranspiration of sweet pepper inside a plastic greenhouse

Genei Antonio Dalmago², Arno Bernardo Heldwein³, Galileo Adeli Burio³, Sandro Wilsman⁴, Gustavo Trentin⁵ e Ivonete Fátima Tazzo⁵

Resumo - Em uma estufa plástica, avaliaram-se três métodos de determinação da evapotranspiração máxima (ETm) diária da cultura de pimentão, durante o período de 15/02 a 02/06/2000. O método 1 consistiu do balanço hídrico do solo com duas formas de quantificação da variação de armazenamento de água no solo (DA). Uma das formas foi através do potencial matricial da água no solo (Y_m) medido com tensiômetros (ETm_s) e a outra, através da umidade do solo (q) determinada com sonda de nêutrons (ETm_{SN}). No método 2, determinou-se a ETm através de oito repetições de minilísimetros de drenagem com solo (ML) (ETm_{ML}), sendo que numa das repetições (ML_B) determinou-se a ETm, simultaneamente, por variação de peso, através de uma balança (ETm_{MLB}), e por variação de volume, de forma indireta através de tensiometria (ETm_{MLS}). No método 3, a ETm foi determinada por três repetições de lisímetros de drenagem com substrato (LS) (ETm_{LS}). Os valores de ETm obtidos em cada método foram padronizados para um mesmo índice de área foliar médio (IAF) considerado para a data, afim possibilitar a comparação dos mesmos. As plantas foram conduzidas em haste única despontando-se as hastes secundárias após sua primeira bifurcação. A relação entre os valores diários da ETm_{MLB} e ETm_{MLS} no ML_B , apresentou coeficiente de determinação (r^2) de 0,90 e entre ETm_{ML} e ETm_{LS} o mesmo foi de 0,88. As medidas diárias de ETm_s apresentaram baixa relação com as medidas da ETm_{SN} com $r^2 < 0,30$. Em nível quinqüidial os métodos, apresentaram resultados de ETm muito semelhantes, com $r^2 > 0,90$ nas relações entre os mesmos. Com base nos resultados, a ETm diária da cultura de pimentão em estufa plástica, pode ser determinada adequadamente através de ML e LS e, em nível quinqüidial, todos os métodos avaliados mostraram-se adequados.

Palavras-chave: Evapotranspiração, métodos de determinação, lisímetros, tensiometria, cultivos protegidos.

Abstract - Three methods for measuring maximum evapotranspiration (ETm) of sweet pepper plants grown inside a plastic greenhouse were evaluated. The experimental period was from 15 Feb to 02 June 2000. Method 1 was the soil water balance method, with the soil water storage component calculated in two different forms: soil water matrix potential measured with tensiometers (ETm_s) and soil moisture measured with a neutron probe (ETm_{SN}). Method 2 consisted of measuring ETm with eight draining minilysimeters (ML) (ETm_{ML}). In one of ML (ML_B) ETm was measured simultaneously by measuring the weight difference with a scale (ETm_{MLB}) and by measuring the volume difference indirectly using a tensiometer (ETm_{MLS}). Method 3 comprised ETm measured with three draining lysimeters filled with a substrate (LS) (ETm_{LS}). The ETm values obtained with each method were standardized to a similar average leaf area index to assure a fair comparison. Plants were conducted with a single stem, since all secondary stems were tipped after the first branching throughout the growing season. The relationship between daily values of ETm_{MLB} and ETm_{MLS} in the ML_B had a coefficient of determination (r^2) of 0.90 and between ETm_{ML} and ETm_{LS} the r^2 was 0.88. Daily values of ETm_s presented weak relationship with ETm_{SN} with r^2 below to 0.30. On a 5-day average basis, all three methods were similar, the relationships among them presenting an $r^2=0.90$. It is concluded that daily ETm of pepper grown inside plastic greenhouse can be accurately measured with ML and LS whereas on a 5-day period basis, all methods are satisfactory.

Key words: consumptive water use, estimate methods, lysimeters, tensiometry, protected cropping.

¹Trabalho financiado pela FAPERGS e Petroquímica Triunfo S.A.

²M.Sc. do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFSM, Bolsista do CNPq.

³Dr. Prof. Tit. do Departamento de Fitotecnia, CCR, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900 Santa Maria, RS. E-Mail: heldwein@creta.ccr.ufsm.br. Bolsista do CNPq.

⁴Aluno do Curso de Graduação em Agronomia da UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq-UFSM.

⁵Aluno do Curso de Graduação em Agronomia da UFSM, Bolsista BIC/FAPERGS.

Introdução

A determinação da evapotranspiração máxima (*ET_m*) fornece informações importantes para o monitoramento correto das necessidades hídricas das espécies vegetais. Para que essas informações sejam representativas das reais condições de demanda hídrica atmosférica e alcancem os resultados esperados na sua aplicação, é fundamental que o método utilizado para sua determinação, seja adequado. Isso é especialmente importante no interior das estufas plásticas, ambientes parcialmente modificados, nos quais toda demanda hídrica deve ser suprida por irrigação.

Um dos métodos que pode ser utilizado para a determinação da *ET_m* no interior de estufas é o balanço hídrico do solo (DALSSASSO et al., 1997; CARON & HELDWEIN, 2000). Para sua realização é necessário quantificar a umidade volumétrica do solo (*q*) a fim de calcular a variação diária da armazenagem de água no solo (*DA*). TOMMASELLI (1997) relaciona a tensiometria e a sonda de nêutrons, como duas das principais formas de obtenção destas variáveis. No entanto, as mesmas não fornecem resultados com acurácia absoluta. Na maioria das vezes, os problemas estão relacionados à representatividade das suas medidas, as quais são influenciadas pela variabilidade espacial das características físicas do solo, às determinações relativamente localizadas ou mesmo pontuais e pelas dificuldades operacionais, freqüentemente observadas na utilização dos equipamentos de determinação da umidade volumétrica do solo (SCALOPPI & SANTOS, 1999).

Embora a tensiometria seja um método eficiente no monitoramento do conteúdo de água no solo para o manejo da irrigação (LIBARDI & SAAD, 1994), suas medidas estão sujeitas a várias fontes de erro, que podem comprometer e, até mesmo, inviabilizar o cálculo do balanço hídrico do solo (VILLAGRA et al., 1995). Por suas medidas serem pontuais, tornam-se altamente influenciadas pela variabilidade espacial das características físicas do solo e, por conseqüência, da redistribuição da água no mesmo, após a realização de uma irrigação (VILLAGRA et al., 1988).

As medidas tomadas com sonda de nêutrons também são muito dependentes do tipo de solo e da variabilidade espacial de suas características físicas, principalmente a porosidade de aeração e a

distribuição da densidade global (TURATTI et al., 1990), que influenciam o conteúdo de água no solo, o qual afeta o raio de ação da sonda de nêutrons (CHANASYK & NAETH, 1996) e, portanto as próprias medidas. Isso se reflete numa maior variabilidade da variação de armazenagem e dos fluxos de água no solo. Determinações incorretas de umidade do solo (*q*) também são obtidas quando as leituras de sonda de nêutrons são realizadas próximo à superfície do solo, devido às perdas de nêutrons lentos para a atmosfera (STONE & NOFZIGER, 1995).

Uma alternativa útil e eficiente para resolver estes e outros problemas do método do balanço hídrico do solo na determinação da *ET_m* das espécies vegetais é a lisimetria. De acordo com Van Bavel (1961), apud MOURA et al. (1993), é o único método de determinação da evapotranspiração com nível adequado de precisão, provavelmente, porque permitem manter um controle rigoroso das entradas e saídas de água no sistema. O ponto crítico desse método é a dificuldade de manutenção das condições idênticas interna e externamente aos lisímetros, devido às diferenças no desenvolvimento das plantas que ocorrem em relação ao meio circundante (SEDIYAMA, 1996; STORLIE & ECK, 1996). Desta forma, as medidas de *ET_m* no lisímetro podem não ser representativas da população de plantas nele usada.

Em trabalhos realizados em Santa Maria, RS, no interior de estufas plásticas, a determinação da *ET_m*, normalmente, foi realizada através do método do balanço hídrico do solo (DALSSASSO et al., 1997; CARON & HELDWEIN, 2000), com a *DA* determinada a partir do potencial matricial da água no solo (*Y_m*), quantificado por tensiômetros. Apesar de consagrada e em uso há muito tempo, a técnica da tensiometria não tem sido avaliada, quanto ao seu desempenho em relação a outras formas de monitoramento da umidade do solo no interior das estufas plásticas. Da mesma forma, não foi testada com relação ao desempenho de outros métodos de determinação da *ET_m*, como a lisimetria, a qual permite eliminar um dos principais problemas do método do balanço hídrico, que é a quantificação correta dos fluxos de água no solo. Essas avaliações se fazem necessárias, pois as estufas são ambientes diferenciados daqueles em que a técnica da tensiometria, normalmente, é utilizada, pois impedem a entrada direta da precipitação e a irrigação às culturas, normalmente, é realizada por gotejamento sob "mulching" plástico. A necessidade de avaliação é

reforçada por alguns resultados que mostram valores muito próximos de ETm diária do tomateiro em estufa plástica, determinada pelo método do balanço hídrico do solo (DALSASSO et al., 1997) e por lisímetros preenchidos com substrato comercial (RIGHI, 2000). No entanto, esses experimentos apresentam grandes diferenças entre si e não foram realizados sob as mesmas condições de controle para a verificação correta destas semelhanças. Por isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes métodos de determinação da ETm da cultura de pimentão cultivada em estufa plástica.

Material e métodos

O trabalho foi conduzido numa 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: 95m), no período de 15/02 à 02/06/2000. O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes (MORENO, 1961). O solo foi classificado como "argissolo vermelho distrófico arênico" (EMBRAPA, 1999), apresentando um horizonte superficial Ap, com transição para horizonte B textural a cerca de 0,3m de profundidade.

A estufa plástica possuía 24m de comprimento (na direção norte – sul) e 10m de largura, com altura de 3m na parte central e 2m de pé-direito, perfazendo uma relação volume de ar/área de solo de 2,5:1. A mesma foi construída com cobertura em forma de arco, recoberta por um filme plástico transparente de polietileno de baixa densidade (PEBD) com 100 μ m de espessura. As laterais, fixas até 1m acima do nível do solo e com cortinas móveis acima deste nível, bem como as portas e as extremidades Norte e Sul foram fechadas com o mesmo plástico. O manejo das cortinas e portas nas extremidades para a ventilação foi realizado conforme a condição meteorológica do dia.

Após o preparo do solo e fertilização com adubo orgânico, demarcou-se os alinhamentos para 10 fileiras de plantas distanciadas em 1m entre si, nos quais construíram-se os camalhões com aproximadamente 0,10m de altura e 0,30m de largura. Estes foram cobertos com faixas de "mulching" de filme opaco de PEBD de cor preta, enterrando-se suas bordas laterais até 0,15m de profundidade abaixo da base do camalhão.

O transplante das mudas de pimentão, híbrido Vidi F1, ocorreu em 14/02/2000 num espaçamento entre plantas de 0,30m, uniformizando-se a população de plantas nas quatro parcelas experimentais no solo e nos demais sistemas de medida da ETm . As plantas foram conduzidas em haste única, tutoradas por um fio de ráfia. As demais hastes, menos vigorosas, foram podadas após a primeira bifurcação, deixando-se no mínimo sete folhas, incluindo a folha inserida na bifurcação, e um fruto. Também manteve-se desbrota total dos ramos emergentes nas axilas das folhas abaixo da primeira bifurcação. O controle de pragas e doenças foi realizado quando necessário.

A ETm da cultura de pimentão foi determinada por três métodos, em base diária, com os componentes dos cálculos transformados em milímetros de água por dia (mm dia⁻¹). O método 1 consistiu do balanço hídrico do solo com duas formas de quantificação da DA . Uma das formas foi através do Ym medido com tensiômetros (ETm_s) e a outra através da q determinada com sonda de nêutrons (ETm_{SN}) em quatro repetições (4 fileiras experimentais). No método 2, determinou-se a ETm através de oito repetições de minilímetros (ML) preenchidos com solo (ETm_{ML}), sendo que numa delas (ML_B) determinou-se a DA , simultaneamente, por variação de peso, através de uma balança (ETm_{MLB}), e por variação de volume (ETm_{MLS}) de forma indireta através de tensiometria. No método 3, a ETm foi determinada por três repetições de lisímetros (LS) com substrato (ETm_{LS}), conforme VALANDRO et al. (1999).

Para a determinação da DA por tensiometria foram utilizados 10 tensiômetros de cápsula porosa e manômetro de mercúrio em cada repetição, sendo quatro instalados na profundidade de 0,10m, dois na de 0,20m, um na de 0,25m, dois na de 0,30m e um na de 0,35m. Destes, dois tensiômetros foram instalados isoladamente a 0,10m de profundidade e os demais foram agrupados em duas baterias, havendo um tensiômetro a 0,25m e um a 0,35m em apenas uma das baterias. Os tensiômetros a 0,10m, 0,20m e a 0,25m de profundidade foram utilizados para determinar a DA e os demais, para calcular o gradiente do potencial hidráulico e determinar a densidade de fluxo vertical de água (q) no limite inferior do sistema (0,25m). As leituras da altura da coluna de mercúrio foram iniciadas em 15/02/2000 e realizadas, diariamente, entre 8h 30min e 9h da manhã, antes da irrigação. Ao entardecer, em intervalos de três a quatro dias, procedeu-se a fluxagem dos tensiômetros com água fervida (HELDWEIN et al., 1995). O método

de avaliação dos tensiômetros antes da sua instalação e a sistemática de instalação, podem ser encontrados em DALMAGO (2001).

No cálculo da ETm_s , desconsiderou-se o componente precipitação devido à estufa ser um ambiente protegido pela sua cobertura. Desta forma, a equação do balanço hídrico resumiu-se a:

$$ETm_s = I - \Delta A + q \quad (1)$$

em que I é a quantidade de água irrigada.

A q foi determinada a partir do Ym (hPa), utilizando-se a curva característica de água no solo, elaborada por CARON & HELDWEIN (2000) no mesmo local de realização deste experimento. A DA para o dia “n”, na camada de solo explorado pelo sistema radicular, 0-0,25m de profundidade para todo o ciclo da cultura, foi calculada pela diferença de q do dia “n” e “n+1”. Para a DA considerou-se uma faixa de solo de 0,50m de largura como área de variação mais significativa da q , em virtude da limitação ao fluxo lateral de água pelo “mulching” plástico e da maior concentração do sistema radicular neste local devido à utilização da irrigação por gotejamento. Na outra metade do espaçamento entre as fileiras de plantas, considerou-se a DA similar a zero. Essa condição de contorno foi adotada durante todo o período experimental.

A q no limite inferior da camada de solo foi quantificada através da equação de Darcy para fluxo não saturado. A condutividade hidráulica insaturada ($K(q)$), necessária para estimar q , foi calculada em base diária, em função da q média (REICHARDT, 1990) da camada 0,20m a 0,30m, sendo que a condutividade hidráulica saturada e a porosidade máxima de saturação foram determinadas no mesmo local por REICHERT (1998)⁶. A equação utilizada foi:

$$K(q) = 1639,54 e^{(120(q-0,4221))} \quad (2)$$

sendo 1639,54 a condutividade hidráulica saturada (K_0), 0,4221 a porosidade máxima ou umidade de saturação e 120 o coeficiente relacionado à textura do solo. O valor da K_0 foi ajustado a fim de melhorar a estimativa da $K(q)$ e da q (DALMAGO, 2001).

A determinação da q com sonda de nêutrons foi realizada com um equipamento CPN modelo 503 DR Hidroprobe (50 mCi Am-241/Be). Em cada re-

petição instalaram-se três tubos de PVC até a profundidade de 0,95m para acesso da sonda, ficando a extremidade superior a 0,05m acima do nível do camalhão. A base dos tubos foi vedada para evitar a entrada de água. Os espaços vazios entre a parede externa dos tubos e o perfil do solo foi preenchido com o próprio solo (CHANASYK & NAETH, 1996). As medições foram realizadas nas profundidades de 0,20m no camalhão com três repetições de leitura após a calibração inicial, cujo valor médio foi considerado correspondente à q na camada 0-0,25m de profundidade (VILLAGRA *et al.*, 1995).

As contagens de nêutrons termalizados, registrados pelo sensor, foram transformadas em q através da equação linear determinada por PETRY (1999)⁷ para a camada 0-0,20m de profundidade de um solo com propriedades físicas idênticas àquele da realização deste experimento, já que o objetivo foi determinar a DA e não o valor absoluto de q (TURATTI *et al.*, 1990). A DA para essa camada foi calculada conforme descrito anteriormente para as **medidas dos tensiômetros**. ETm_{SN} foi determinada pela equação 1, em que apenas a DA diferiu do cálculo anterior. Nos poucos dias em que não foram realizadas as leituras assumiu-se os valores de DA determinados por tensiometria.

A irrigação nas 10 fileiras de plantas cultivadas no solo foi realizada pela manhã através de tubos gotejadores autocompensantes, com vazão de 1,65 l.h⁻¹ a uma pressão máxima de 1000 hPa e emissores espaçados de 0,30m entre si. Os mesmos foram, instalados sob o “mulching” e alojados em pequenos sulcos no centro dos camalhões, para evitar escorrimento de água para as bordas, o que aumentaria os erros de determinação da DA . O controle da irrigação nas quatro fileiras experimentais, duas no lado leste e duas no lado oeste da estufa, foi individual através de registros de pressão, sendo que o volume de água foi quantificado por hidrômetros independentes, do tipo unijato, com vazão de 1500 l.h⁻¹ e resolução de 0,1 l. A tomada de decisão para irrigar ou não e a lâmina de água a ser fornecida no dia, foram definidas com base no Ym (0,10m), condições de demanda hídrica atmosférica no momento da irrigação e crescimento das plantas, conforme (DALSASSO *et al.*, 1997), mantendo-se o Ym entre -100 e -400 hPa durante todo o período experimental.

⁶Comunicação pessoal de REICHERT, J.M., Departamento de Solos/CCR/UFMS, Santa Maria – RS. (Dados não publicados).

⁷Comunicação pessoal de PETRY, M.T., Programa de Pós-graduação em Agronomia/CCR/UFMS, Santa Maria – RS (Dados não publicados).

A ETm_{ML} (método 2) foi determinada em oito minilísimos (ML), instalados, aleatoriamente no interior da estufa, e construídos a partir de galões de PVC de formato cilíndrico ($\varnothing = 0,30m$) com capacidade volumétrica útil de 20 litros (NIED et al., 1998). Preencheu-se os mesmos com uma camada de areia fina na base (0,01m), para facilitar o fluxo da água drenada até a cápsula extratora, sendo o restante do espaço preenchido com o próprio solo retirado do local de instalação. Um extrator de cápsula porosa de formato em “L”, foi instalado no fundo de cada ML e a água drenada foi retirada com bomba de vácuo (DALMAGO, 2001) e quantificada, diariamente no início da manhã.

A borda superior dos ML ficou a 0,01m acima do nível do camalhão e sob o “mulching” para evitar evaporação da água do solo. No centro de cada ML foi transplantada uma planta, sendo que a uma distância horizontal de 0,10m da mesma, na profundidade de 0,10m, foi instalado um tensiômetro para o controle do Ym . A DA foi determinada na camada de solo 0-0,10m, durante as 1ª e 2ª semanas; 0-0,15m para a 3ª semana; 0-0,20m para a 4ª semana e 0-0,30m de profundidade para as demais semanas após o transplante. A metodologia de cálculo, bem como a instalação, manutenção e leituras dos tensiômetros foram realizadas de forma idêntica àqueles instalados no solo. A ETm_{ML} foi calculada através da equação 1, em que q foi substituído pelo volume diário de água drenada.

O ML_B foi instalado sobre uma balança eletrônica com capacidade de 50kg e resolução de 0,005 kg, localizada abaixo do nível do solo, para a quantificação simultânea da ETm_{MLB} (por variação de massa) e ETm_{ML5} (variação de volume, q , a partir de Ym). A ETm_{MLB} foi quantificada pela diferença entre a leitura do dia “n” e “n+1”, realizada às 8h 30min e a ETm_{ML5} conforme as demais repetições dos ML . A ETm_{MLB} foi ajustada em relação ao incremento diário de massa de matéria fresca na planta. As medidas no ML_B iniciaram 15 dias após àquelas dos demais métodos. A irrigação no ML_B e nos ML foi realizada, manualmente, pela manhã. A quantidade de água foi definida de forma idêntica às plantas cultivadas no solo, sendo o volume medido por proveta. Semanalmente, aplicou-se uma dosagem de solução nutritiva para as plantas nos ML (DALMAGO, 2001).

A ETm_{LS} (Método 3) foi determinada com a metodologia descrita por VALANDRO et al. (1999). O LS constituiu-se de uma calha de PVC de 1,5m de

comprimento para suporte de cinco sacolas plásticas com substrato contendo uma planta em cada sacola em espaçamento idêntico àquelas cultivadas no solo, um reservatório para estocagem de solução nutritiva, tubos de condução de água e reservatório para coleta da solução drenada após a irrigação. Foram utilizadas três repetições de LS . Em cada sacola utilizou-se um volume de, aproximadamente, oito litros de substrato comercial. As sacolas foram perfuradas na base para a drenagem do excesso da água, que foi conduzida para o interior do reservatório de coleta. O conjunto da calha e sacolas foi envolto por um filme plástico de PEBD opaco preto para evitar evaporação. Os LS foram instalados na parte norte da estufa, com leve grau de inclinação para o reservatório de coleta da solução.

Realizaram-se duas irrigações diárias em cada LS , com solução nutritiva adaptada para a cultura do pimentão (DALMAGO, 2001), devido ao pequeno volume de substrato contido nas sacolas, sendo a primeira pela manhã, entre 08h e 08h 30min, e a segunda no início da tarde. A quantidade de água foi determinada pelo tempo necessário para a saturação completa do substrato, cerca de 2 min após o início da drenagem, sendo que o volume aplicado foi quantificado pela diferença de nível no reservatório da solução, medido num visor externo, através de uma régua fixada próxima ao mesmo. A ETm_{LS} do dia “n” foi determinada pela diferença entre o volume irrigado e drenado da segunda irrigação do dia “n” mais a diferença da primeira irrigação do dia “n+1”.

A cada intervalo de sete dias foi medido o comprimento máximo (cm) de todas as folhas em três plantas cultivadas no solo, sendo cinco nos ML , incluindo a do ML_B , e três nos LS . Com isso, calculou-se a área foliar através da equação matemática definida por DALMAGO et al. (2001), para a cultura do pimentão em estufa plástica e, posteriormente, o IAF diário em cada local de cultivo. Determinou-se, também, a curva de acúmulo de massa de matéria seca total, a partir de coletas semanais de plantas.

A ETm , obtida nos diferentes métodos, em função das diferenças de desenvolvimento das plantas, foi padronizada para um mesmo IAF , a fim de realizar a análise nas mesmas condições. Isso consistiu da divisão dos valores de ETm , obtidos em cada método, pelo respectivo IAF , e posterior multiplicação pelo IAF médio das plantas dos diferentes métodos de determinação. Considerou-se que todos os métodos foram igualmente influenciados pelas condições

meteorológicas e pelo manejo das aberturas da estufa. A avaliação foi realizada pela análise de regressão, considerando-se o coeficiente de determinação (r^2) e a tendência dos dados em relação à linha 1:1.

Resultados e discussão

Na Figura 1a são mostrados os valores diários de evapotranspiração máxima no ML_B , determinados por variação de peso (ETm_{MLB}), através de balança, e por variação da umidade volumétrica (ETm_{MLS}) através do Ym medido com tensiômetro no ML_B . O elevado ajuste dos coeficientes angular e linear da reta de regressão e a baixa variabilidade das medidas diárias mostram que a tensiometria possibilita a obtenção de valores de ETm consistentes e representativos da condição diária de demanda hídrica atmosférica, a qual é expressada pela ETm_{MLB} . Os desvios positivos ou negativos, em relação à linha de tendência, podem ser atribuídos a fatores como a variabilidade espacial das características do solo, a redistribuição da água de irrigação e a variação dos fluxos na camada de solo considerada (VILLAGRA *et al.*, 1988), no interior do ML_B .

A mesma tendência foi observada entre os valores médios diários de ETm_{LS} e ETm_{ML} (Figura 1b), confirmando o bom desempenho da tensiometria. Além disso, o ajuste elevado das medidas à linha 1:1 e a baixa dispersão dos pontos, em relação à reta de regressão, indicam que os resultados de ETm_{LS} podem ser utilizados como critérios no manejo da irrigação de plantas cultivadas no solo com alto grau de confiança. No entanto, para isso, as diferenças de IAF devem ser consideradas.

Existem alguns valores (Figuras 1a e 1b) que apresentam uma maior dispersão da reta de regressão e da linha 1:1. É o caso, por exemplo, dos valores negativos de ETm_{MLS} observados na Figura 1a, que ocorreram em dias de baixa demanda atmosférica, nos quais, mesmo assim, fez-se a irrigação. A falta de redistribuição da água no solo do interior do ML_B pode ter sido uma das causas que determinou tal tendência (VILLAGRA *et al.*, 1988; ESPINOSA *et al.*, 1994), pois a água irrigada em dias com condição de baixa demanda hídrica pode permanecer concentrada na camada superior do solo, próximo à cápsula do tensiômetro. Com isso e em decorrência da baixa absorção de água pelo sistema radicular, podem ter sido formadas zonas da maior q próximo da cápsula do tensiômetro (ESPINOSA *et al.*, 1994). Em conse-

quência, a DA foi calculada como sendo mais elevada do que aquela realmente ocorrida na média de todo o volume de solo do ML_B . Desta forma, o valor da ETm_{MLS} obtida para o dia foi reduzido demasiadamente, enquanto que no dia seguinte, em função de uma provável redistribuição da água no solo e, normalmente, da não realização de irrigação, devido ao elevado Ym pela manhã, o valor da ETm_{MLS} foi superestimado.

O aumento do desvio dos valores de ETm_{MLS} em dias nos quais não houve irrigação e de alta demanda evaporativa atmosférica, pode ter sido causado pela maior absorção de água pelo sistema radicular próximo à cápsula do tensiômetro (TOOP *et al.*, 1996). A concentração de raízes neste local pode ocorrer por ser esta uma região de maior q , em consequência do equilíbrio hidrodinâmico que a cápsula mantém com o solo ao seu redor. A constante absorção de água pelas raízes para atender à demanda evaporativa atmosférica diminui mais intensamente o Ym ao redor da cápsula, em relação ao restante do solo (MENDEZ *et al.*, 1997). O restabelecimento do equilíbrio hidráulico, neste caso, provavelmente, foi realizado com maior intensidade às custas da água interna do tensiômetro do que do solo, uma vez que a condutividade hidráulica do solo diminui exponencialmente em função da diminuição da q , super dimensionando a DA , em relação ao valor real. Isso também explicaria a pequena tendência de aumento da dispersão dos pontos e dos desvios da reta de regressão das medidas de ETm_{ML} nos dias de maior demanda evaporativa atmosférica (Figura 1b), apesar de não ser descartada a hipótese de estresse hídrico das plantas nas horas mais quentes do dia nos LS , em alguns dias, nos horários de maior demanda atmosférica.

As diferenças diárias entre ETm_{MLB} e ETm_{MLS} no ML_B e entre ETm_{LS} e ETm_{ML} apresentaram relação significativa com a DA calculada a partir do(s) tensiômetro(s) ($r^2 = 0,45$ e $r^2 = 0,33$, respectivamente). Essa relação confirma a tendência de que os valores da ETm_{MLS} e da ETm_{ML} foram dependentes da expressão das características físico-hídricas do solo e da ação ou não do sistema radicular das plantas, determinantes do movimento da água no solo, principalmente nos limites extremos, por estarem relacionados a DA .

O incremento diário de massa de matéria fresca na planta (FYNN *et al.*, 1993) e a precisão das medidas da balança (CHALMERS *et al.*, 1992) tam-

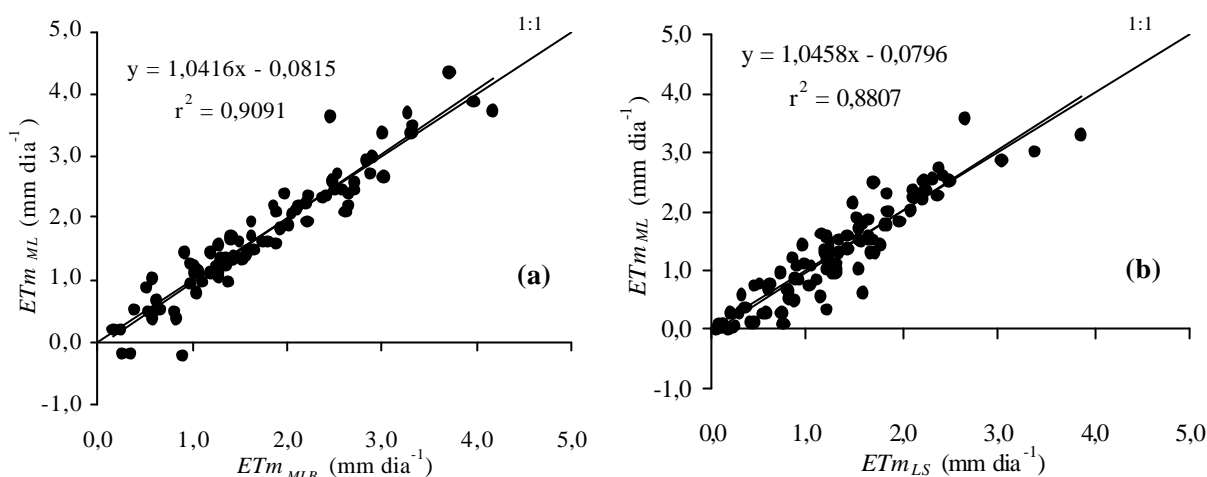


Figura 1. Relação entre a evapotranspiração determinada por variação de peso (ETm_{MLB}) e por variação de volume (ETm_{ML}) em minilímetro de solo com balança (a) e relação entre a média da evapotranspiração máxima medida em lisímetros com substrato (ETm_{LS}) e em minilímetro com solo (ETm_{ML}) (b). Santa Maria, RS – 2001.

bém podem ter incrementado as diferenças entre a ETm_{MLB} e ETm_{ML} . Os erros na medição do volume de água irrigado e drenado, embora pequenos, podem ter contribuído para diferenças significativas, tanto entre ETm_{MLB} e ETm_{ML} quanto entre ETm_{LS} e ETm_{ML} , especialmente em dias de baixa demanda evaporativa atmosférica. No substrato, visto a possibilidade de ocorrência de fluxos preferenciais da água, a saturação incompleta em parte do volume do mesmo, pode ter elevado a diferença entre ETm_{LS} e ETm_{ML} em determinados dias, a qual, normalmente foi compensada em um a dois dias após. Por isso uma frequência elevada de irrigação em substrato, controlando-se a eletrocondutividade da solução, é fundamental para a manutenção de boa condição hídrica a fim de atender, satisfatoriamente, a demanda atmosférica.

A relação entre os valores médios quinqüidiais de ETm_{MLB} e ETm_{ML} (Figura 2a) e entre ETm_{LS} e ETm_{ML} (Figura 2b) confirmam a similaridade observada entre estes métodos de determinação. Os coeficientes lineares e angulares das equações das retas permaneceram praticamente os mesmos, mas os r^2 apresentaram sensíveis melhoras, confirmando a compensação das diferenças diárias em curto intervalo de tempo. Com isso, evidencia-se que não houve tendências sistemáticas em favor de um ou outro método e as diferenças, em nível diário, são decorrentes de outros fatores que produzem erros não sistemáticos nas determinações. No entanto, essa similaridade deve ser entendida dentro de um contexto em que as

plantas apresentam um mesmo IAF em cada local de cultivo, para que a aplicação dos resultados possa ser recomendada em situações distintas. Portanto, o IAF , ou outra variável fenométrica que tenha estreita relação com o mesmo, deve ser considerado.

Na Figura 3 é mostrada a relação da ETm_{LS} e ETm_{ML} , sem o ajuste pelo IAF . Os resultados refletem a tendência sistemática do maior IAF , apresentada pelas plantas cultivadas nos LS , que causou maior ETm_{LS} em relação a ETm_{ML} . Essa tendência pode ser observada na alteração dos coeficientes linear e angular da equação da reta, em relação àquelas da equação da Figura 1b, embora mantivesse o valor do r^2 . As plantas nos LS apresentaram maior crescimento, devido às melhores condições de aeração do substrato, irrigação com solução nutritiva e com maior frequência, enquanto nos ML o crescimento foi afetado pela limitação nutricional, volume limitado de solo e elevada q , atenuando o desenvolvimento do sistema radicular das plantas devido à menor aeração.

Com base nos resultados discutidos anteriormente, ficou evidenciado que com a tensiometria a ETm da cultura do pimentão foi determinada adequadamente, quando os tensiômetros foram instalados no interior dos ML . Por isso, não será realizada a comparação da ETm_S e ETm_{NS} com valores obtidos por lisimetria, devido à grande variabilidade destes últimos valores, conseqüência da dificuldade de determinar corretamente o q no limite da camada controle

de solo, o qual correspondeu a mais de 40% da ETm_S e ETm_{NS} .

A elevada variabilidade entre as medidas diárias de ETm_S e ETm_{NS} (Figura 4a), indica que houve uma tendência distinta entre as duas formas de determinação da DA . Entretanto, as diferenças diárias compensaram-se quando os valores foram analisados através de médias quinqüidiais (Figura 4b), aumentando o r^2 e melhorando o ajuste dos coeficientes linear e angular da regressão.

Nos dias de baixa demanda evaporativa atmosférica a ETm_{NS} apresentou a tendência de desvios positivos, enquanto para dias de alta demanda evaporativa os mesmos foram negativos em relação aos valores da ETm_S . Quando isso não foi observado, as diferenças entre ambas foram relativamente baixas. Em função disso, analisando-se o conjunto dos dados, constatou-se uma defasagem de aproximadamente um dia na concordância entre os valores. Considerada essa defasagem, a dispersão dos pontos diminuiu, o r^2 aumentou em mais de 50% (0,4269) e os coeficientes linear e angular se ajustaram melhor à reta 1:1 (0,3863 e 0,6914, respectivamente). Essa discordância entre os valores diários pode estar relacionada às características dos métodos de determinação da DA (VILLAGRA et al., 1988; TURATTI et al., 1990) e à variabilidade espacial das características físicas do solo (VILLAGRA et al., 1995; SANTOS et al., 1998), já que a DA foi o único componente do balanço hídrico que diferiu na determinação da ETm_S e ETm_{NS} .

A variabilidade entre os valores de ETm_S e ETm_{NS} , com relação à DA , pode ser explicada pelo fato de que os tensiômetros possibilitam determinações pontuais da q , enquanto a sonda de nêutrons amostra um volume maior de solo, o qual depende do tipo, da distribuição da densidade global e da q (TURATTI et al., 1990) e que, por isso, apresenta medidas mais estáveis ao longo do tempo (KIRDA & REICHARDT, 1992). Por estas razões, também pode ser explicada a melhor correlação das diferenças diárias entre ETm_S e ETm_{NS} com a DA determinada a partir das leituras dos tensiômetros ($r^2 = 0,680$) do que com a DA determinada pela sonda de nêutrons ($r^2 = 0,072$).

As discrepâncias entre os valores de ETm_S e ETm_{NS} se devem, também, às diferenças entre o posicionamento dos sensores de medidas de q . Os tensiômetros com maior contribuição no cálculo da ETm_S corresponderam àqueles instalados a 0,10m de profundidade, que foram em maior número. Estes foram mais influenciados pela quantidade diária de água irrigada, por localizarem-se mais próximos dos emissores dos tubos gotejadores, do que as determinações com sonda de nêutrons realizadas a 0,20m de profundidade. Isso foi comprovado quando comparou-se a diferença da ETm_S com a diferença da quantidade de água irrigada entre o dia "n" e "n-1" ($r^2 = 0,339$). Além disso, por estarem instalados na camada de solo de maior concentração das raízes (0-0,20m de profundidade, por observação visual), os tensiômetros responderam com maior sensibilidade

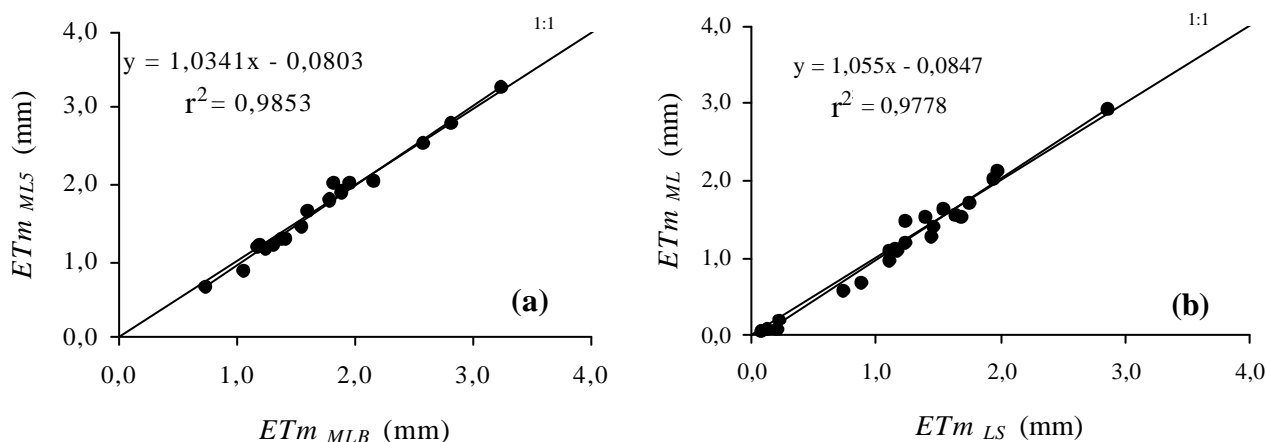


Figura 2. Relação entre médias quinqüidiais da evapotranspiração máxima determinada por variação de peso (ETm_{MLB}) e por variação de volume (ETm_{MLS}) no minilísímetro de solo com balança (a) e entre valores médios quinqüidiais medidos em lisímetros com substrato (ETm_{LS}) e em lisímetros com solo (ETm_{ML}) (b). Santa Maria, RS – 2001.

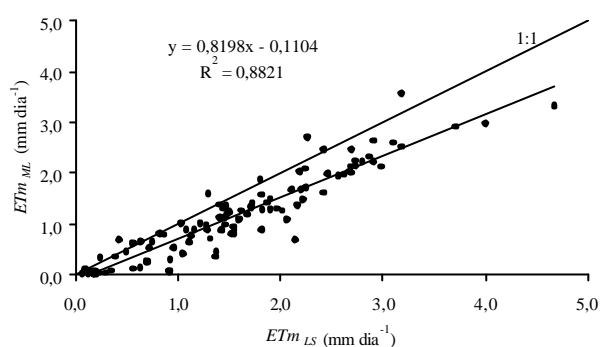


Figura 3. Relação da média da evapotranspiração máxima, medida em lisímetros com substrato (ETm_{LS}) com aquela medida em lisímetros com solo (ETm_{ML}) sem a padronização pelo índice de área foliar. Santa Maria, RS – 2001.

à condição diária de q por ocasião das mudanças de demanda evaporativa atmosférica. Por outro lado, o volume de solo amostrado pela sonda de nêutrons, a 0,20m de profundidade, pode ter abrangido parte da camada de solo do horizonte B textural (Bt) onde a q sempre foi mais elevada e sua variação diária era menos acentuada. As mudanças abruptas de q levam a determinações incorretas pela sonda de nêutrons, devido à larga esfera de influência da mesma (CHANASYK & NAETH, 1996), sendo essa uma possível explicação para o fato de que as maiores diferenças entre ETm_S e ETm_{NS} ocorreram quando a quantidade de água irrigada foi elevada, acima da demanda evaporativa para o dia.

Em alguns dias foram observados valores negativos de ETm_S e ETm_{NS} (Figura 4a). Esta ocorrência, em dias de elevada demanda evaporativa atmosférica e elevada irrigação, pode estar relacionada à redistribuição da água no solo, decorrente de suas características físico-hídricas (VILLAGRA et al., 1988), conforme foi comentado na análise dos resultados obtidos com ML . Porém, em dias de baixa demanda evaporativa atmosférica e ocorrência de chuvas abundantes, os valores negativos podem ser atribuídos à elevação do lençol freático, inviabilizando a quantificação correta do fluxo vertical a 0,25m de profundidade (q).

Nos resultados apresentados existem evidências de que os valores da ETm_S corresponderam melhor às mudanças diárias da condição de demanda hídrica atmosférica no interior da estufa, do que aque-

les da ETm_{SN} . É o caso, por exemplo, do melhor ajuste das diferenças entre ETm_S e ETm_{SN} em relação à DA , determinada por tensiômetros, como também, da resposta imediata dos mesmos à condição de demanda evaporativa atmosférica, conforme discutido anteriormente embora em nível quinqüidial, os valores de ETm_S e ETm_{SN} sejam semelhantes.

Para a escolha do método de medição da q também deve-se considerar outras particularidades. A sonda de nêutrons é um equipamento caro, demanda bastante tempo e utiliza uma fonte radioativa como elemento sensível nas medições, que pode trazer riscos à saúde do operador, se não forem tomados os devidos cuidados. Já os tensiômetros são bem mais baratos, fáceis de serem construídos e manejados, permitem obter resultados, no mínimo, idênticos àqueles obtidos com sonda de nêutrons (para Ym elevados) e não apresentam o inconveniente da radioatividade, embora deva-se tomar cuidado também com a possível poluição ambiental pelo mercúrio. Além disso, a DA mais significativa ocorre na camada superficial do solo onde se concentra a maior quantidade de raízes das plantas hortícolas, camada na qual a sonda não deve ser usada, enquanto que para os tensiômetros não há restrições. Desta forma, pelo menos nas medidas diárias de ETm , não se justifica a utilização da sonda de nêutrons para quantificar a demanda de água de culturas de olerícolas em estufas plásticas, quando se dispõem de tensiômetros.

Conclusões

Os métodos avaliados fornecem determinações ~~similares da evapotranspiração máxima~~ similares da evapotranspiração máxima em uma cultura de pimentão em estufa plástica para intervalos quinqüidiais, enquanto que, em nível diário, a mesma pode ser determinada adequadamente por minilísímetros de drenagem com solo ou com substrato. Em função disso, os valores de evapotranspiração máxima obtidos nos minilísímetros de drenagem com solo podem ser utilizados para o manejo da irrigação das plantas cultivadas no substrato e no solo, desde que consideradas as diferenças em índice de área foliar das plantas entre os meios de cultivo.

Referências bibliográficas

CARON, B., HELDWEIN, A. B. Consumo d'água e coeficiente de cultura em estufa plástica na primavera.

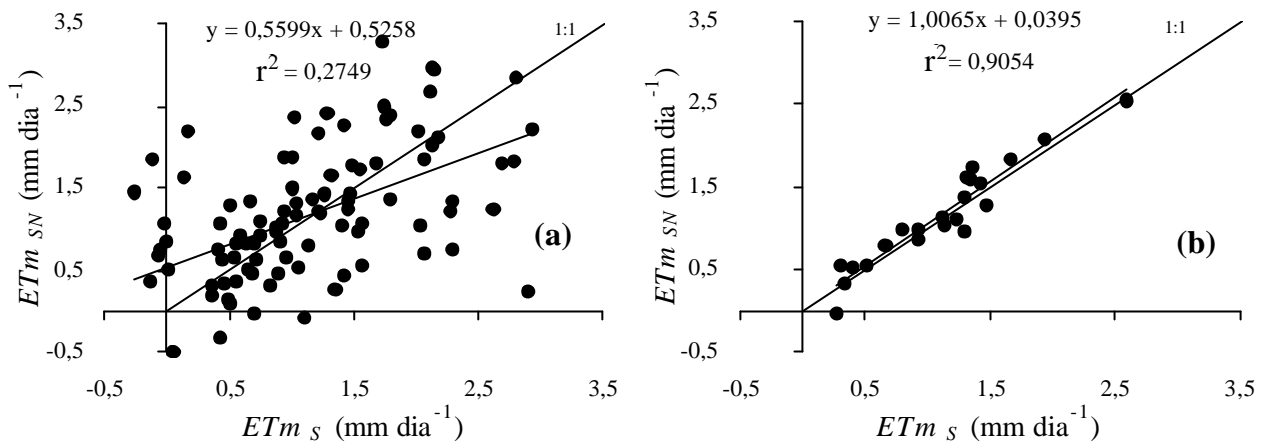


Figura 4. Relação entre a evapotranspiração máxima das plantas de pimentão cultivadas diretamente no solo, determinada através das leituras de tensiômetros (ETm_s) e de sonda de nêutrons (ETm_{SN}) ao nível diário (a) e por quinquédios (b). Santa Maria, RS – 2001.

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 19-25, 2000.

CHALMERS, D.J., ANDREWS, P.K., HARRIS, K.M. et al. Performance of drainage lysimeters for the evaluation of water use by Asian pears. **HortScience**, East Lansing, v. 27, n. 3, p. 263-265, 1992.

CHANASYK, D.S., NAETH, M.A. Field measurement of soil moisture using neutron probes. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v. 76, p. 317-323, 1996.

DALMAGO, G.A. **Evapotranspiração máxima e sua modelagem para a cultura do pimentão em estufa plástica**. Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 166 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia/UFSM, 2001.

DALMAGO, G.A., CONCEIÇÃO, A.L. da, HELDWEIN, A.B. Modelos para estimar a área foliar do pimentão cultivado em estufa plástica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, 2002, (no prelo).

DALSASSO, L.C.M., HELDWEIN, A.B., BURIOL, G.A. 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.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília : Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 1999. 412 p.

ESPINOSA, M.R., RENDÓN, P.L., ARTEGA, R.R. et al. Diseño, construcción y evaluación de un tensiometro. **Revista Chapingo**, Mexico, v. 1, p. 109-113, 1994.

FYNN, R.P., AL-SHOOSHAN, A., SHORT, T.H. et al. Evapotranspiration measurement and modeling for a

potted chrysanthemum crop. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 36, n. 6, p. 1907-1913, 1993.

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

KIRDA, C., REICHARDT, K. Comparison of neutron moisture gauges with nonnuclear methods to measure field soil water status. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 49, n. 1, p. 111-121, 1992.

LIBARDI, P.L., SAAD, A.M. Balanço hídrico em cultura de feijão irrigada por pivô central em latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 529-532, 1994.

MENDEZ, M.E.G., REICHARDT, K., BACCHI, O.O. et al. Avaliação da distribuição do sistema radicular da seringueira através da variação do potencial matricial da água no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997. Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. 758 p. p. 599-601.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : Secretaria da Agricultura, 1961. 46 p.

MOURA, M.V.T. de, BOTREL, T.A., FRIZZONE, J.A. et al. Determinação do consumo de água na cultura da cenoura (*Daucus carota* L.) através do método lisimétrico. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 4, p. 89-101, 1993.

NIED, A.H., HELDWEIN, A.B., CARON, B.O. et al. Informe preliminar sobre dois métodos de determinação do consumo d'água pelo tomateiro cultivado em estufa plástica. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIEN-

- TÍFICA, 10., e FEIRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 7., 1998. Porto Alegre, RS. **Livro de Resumos...**, Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ PROPESQ, 1998. 503 p. p. 106.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo : Ed. Manole, 1990. 188 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 : USP, 2000. 83 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 2000.
- SANTOS, R.F., CARLESSO, R. Influência da textura e propriedades do solo na calibração da sonda de nêutrons. **Irriga**, Botucatu, v. 3, n. 1, p. 23-34, 1998.
- SCALOPPI, E.J., SANTOS, I.A. Manejo da irrigação através da identificação de deficiência hídrica comparativa em plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999. Florianópolis, **Anais...** Florianópolis : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/ EPAGRI, 1999. 2779 p. p. 2603-2607, (CD-ROM).
- SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. i-xii. 1996.
- STONE, J.F., NORZIGER, D.L. Calibration of neutron probes by transfer through laboratory media: I. Principles. **Soil Science**, Baltimore, v. 160, n. 3, p. 155-163, 1995.
- STORLIE, C.A. ECK, P. Lysimeter-based crop coefficients for young highbush blueberries. **HortScience**, East Lansing, v. 31, n. 5, p. 819-822, 1996.
- TOMMASELLI, J.T.G. **Influência de algumas características do solo sobre a calibração de um aparelho de TDR (Time-Domain Reflectometry)**. Piracicaba : USP, 1997. 109 p. Tese (Doutorado em Solos), Centro de Energia Nuclear na Agricultura/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ USP, 1997.
- TOOP, G.C., WATT, M., HAYHOE, H.N. Point specific measurement and monitoring of soil water content with an emphasis on TDR. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v. 76, p. 307-316, 1996.
- TURATTI, A.L., VILLAGRA, M.M., PONCE, J.E. et al. Variabilidade espacial do solo e sua implicação na calibração de sondas de nêutrons. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 14, p. 259-262, 1990.
- 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.
- VILLAGRA, M.M., BACCHI, O.O.S., TUON, R.L. et al. Difficulties of estimating evapotranspiration from the water balance equation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 72, p. 317-325, 1995.
- VILLAGRA, M.M., MATSUMOTO, O.M., BACCHI, O.O.S. et al. Tensiometria e variabilidade espacial em terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 205-210, 1988.